

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente

**Gestão de Resíduos de PET: avaliação do processo de reciclagem mecânica no contexto da política de ambiente europeia.**

Por  
Carla Nunes Soares

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Gestão e Políticas Ambientais

Orientador: Professor Doutor Rui Ferreira dos Santos

Lisboa  
(2010)

## **Agradecimentos**

Agradeço ao meu marido e à minha filha a compreensão que demonstraram, o apoio e o encorajamento que fizeram com que não desistisse de concretizar este objectivo e a permissão de usar o tempo disponível para a família para me dedicar a este estudo.

Ao Professor Doutor Rui Ferreira dos Santos, do Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, da Universidade Nova de Lisboa, por ter aceite a orientação, e toda a colaboração e disponibilidade no acompanhamento do trabalho, bem como a utilidade e pertinência das suas recomendações.

À empresa pela disponibilidade revelada durante a execução do trabalho prático, em especial ao Dr. Nuno Mangerona.

À Eng. Cristina Silva da empresa Ceifa, o seu apoio, clareza no esclarecimento de dúvidas relativas ao software UMBERTO<sup>®</sup>, e a amizade que construímos.

Agradeço aos meus colegas de trabalho que estiveram sempre disponíveis para me auxiliar, nomeadamente a Eng. Ana Meira, o Eng. Fernando Camoesas e a Eng. Cristina Barbosa.

Um agradecimento à colega de curso e amiga Eng.<sup>a</sup> Marina Rodrigues, pela motivação, orientação e paciência que demonstrou.

Agradeço à Eng.<sup>a</sup> Luanha Saraiva e à Dr.<sup>a</sup> Filomena Costa o seu espírito de companheirismo académico.

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho à minha filha Carlota. Espero que quando ela for crescida compreenda que aquele tempo que não usufruímos juntas, por eu estar dedicada a esta dissertação, tivesse também como objectivo demonstrar-lhe que só através do estudo, do trabalho e da dedicação a um projecto enriquecemos como seres humanos e também como profissionais.

Dedico também ao meu marido, Miguel, de quem recebi apoio incondicional.

## Sumário

Actualmente, o politereftalato de etileno (PET) é um dos polímeros sintéticos mais utilizados devido ao grande crescimento de aplicações. As operações industriais que envolvem PET produzem uma quantidade substancial de material fora de especificação (cerca de 2% da produção total). A acrescer a este estão todos os resíduos pós-consumo ligados à produção de embalagens, aplicação esta que tem levado a um crescente interesse na reciclagem do PET.

A reciclagem dos plásticos é uma opção que se enquadra nas orientações da política europeia e nacional de gestão de resíduos, sendo um dos três eixos da política dos 3 Rs – “Reduzir, Reutilizar e Reciclar”. No caso particular da reciclagem de resíduos de embalagens de PET a técnica mais difundida é a reciclagem mecânica. Em Portugal existe apenas uma empresa dedicada ao tratamento dos resíduos de embalagens de PET pós-consumo, que adopta essa técnica.

É objectivo deste trabalho avaliar a técnica de reciclagem mecânica considerando aspectos ambientais, bem como analisar em que medida esta técnica permite dar cumprimento à política ambiental europeia, nomeadamente às estratégias temáticas sobre a utilização sustentável dos recursos naturais e da prevenção e reciclagem de resíduos. Para a prossecução destes objectivos propõe-se a modelação do processo de reciclagem mecânica de embalagens de PET utilizando o *software* de gestão ambiental e análise de fluxos de materiais e energia, UMBERTO®.

Verifica-se que os pontos cruciais (*hotspots*) deste processo em termos de avaliação ambiental são os consumos de água e a produção de resíduos. Conclui-se que o processo de reciclagem existente em Portugal está em linha com a estratégia temática de prevenção e reciclagem de resíduos, na medida em que efectua um tipo de tratamento mecânico às garrafas de PET que permite a utilização do produto resultante em aplicações alimentares, tais como no processo de fabrico de novas garrafas e na produção de filmes/chapas de PET multicamada, utilizando o PET reciclado na camada interna. Este é um meio de reintroduzir os resíduos no ciclo económico, sob a forma de produtos de qualidade, poupando recursos e reduzindo as emissões de gases de efeito de estufa.

A metodologia proposta pode contribuir para a concretização da responsabilidade das empresas na implementação de estratégias e práticas de desenvolvimento sustentável introduzindo nos seus objectivos estratégicos o estudo dos seus métodos operativos.

## **Subject**

Currently, the polyethylene terephthalate (PET) is one of the most widely used synthetic polymers because of the large growth of applications. Industrial operations involving PET produce a substantial amount of material out of specification (about 2% of total production). In addition to this, there is all post-consumer waste associated with the production of packaging. This application of PET has led to a growing interest in its recycling.

The recycling of plastics is an option that fits the guidelines of European and national waste management policy and is one of the three axes of the 3 Rs policy – “Reduce, Reuse and Recycle”. In the particular case of recycling of PET packaging, the most widespread technique is mechanical recycling. In Portugal there is only one company dedicated to the treatment of post consumer PET packaging, which has adopted this technique.

This work aims to evaluate the technique of mechanical recycling considering environmental aspects, as well as examine the extent to which this technique allows to comply with European environmental policy, in particular the thematic strategies on sustainable use of natural resources and the prevention and recycling of waste. To achieve these objectives it is proposed to model the portuguese’s process of mechanical recycling of PET bottles using UMBERTO<sup>®</sup>, the software for environmental management and analysis of material flows and energy.

It appears that the hotspots of this process are the consumption of water and the generation of wastes. It is concluded that the Portuguese recycling process is in line with the thematic strategy on prevention and recycling of waste as it performs a kind of mechanical treatment to PET bottles that allow the use of the final product in food applications, such as manufacture of new bottles and production of multilayer PET film /sheet, using recycled PET in the inner layer. This is a way to reintroduce the waste in the economic cycle as quality products, saving resources and reducing emissions of greenhouse gases.

The proposed methodology can contribute to the achievement of social and environmental responsibility of the companies, driving the implementation of strategies and practices of sustainable development and the introduction in its strategic objectives the analysis of their operating methods.

## Simbologia e Notações

<b>AMA</b>	Acordos Multilaterais de Ambiente
<b>BHET</b>	Bis(hidroxietil)tereftalato
<b>BPU</b>	Batch polycondensation unit
<b>BREF</b>	Reference Document on Best Available Techniques
<b>C</b>	Carbono
<b>CAC</b>	Comissão para as Alterações Climáticas
<b>CAGERE</b>	Comissão de Acompanhamento de Gestão de Embalagens e
<b>CER</b>	Catálogo Europeu de Resíduos
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano
<b>CHP</b>	Produção combinada de calor e electricidade
<b>CIRVER</b>	Centros integrados de recuperação, valorização e eliminação de
<b>CNUAD</b>	Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e Desenvolvimento
<b>COP15</b>	15ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro para as
<b>CQO</b>	Carência química de oxigénio
<b>DMT</b>	Dimetiltereftalato
<b>DTIE</b>	Division of Technology, Industry and Economics
<b>ECHA</b>	European Chemicals Agency
<b>EG</b>	Etilenoglicol
<b>EMAS</b>	Sistema comunitário de eco gestão e auditoria
<b>ENDS</b>	Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável
<b>EPA</b>	United States Environmental Protection Agency
<b>EPRO</b>	Associação Europeia das Organizações para a Recuperação
<b>EPS</b>	Poliestireno expandido
<b>ERG</b>	Eastern Research Group
<b>ETAR</b>	Estação de tratamento de água residual
<b>EUA</b>	Estados Unidos da América
<b>FDA</b>	Food & Drug Administration
<b>G8</b>	Estados Unidos, Japão, Alemanha, Reino Unido, França Itália e o Canadá (antigo G7), mais a Rússia
<b>GEE</b>	Gases com efeito de estufa
<b>H</b>	Hidrogénio
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Água
<b>HDPE</b>	Polietileno de alta densidade
<b>HTM</b>	Meio de transferência de calor (heat transfer medium)
<b>IDA</b>	Indicadores de desempenho ambiental

<b>IDG</b>	Indicadores de desempenho de gestão
<b>IDO</b>	Indicadores de desempenho operacional
<b>IEA</b>	Indicadores de estado do ambiente
<b>IPA</b>	Ácido isoftálico
<b>IPCC</b>	Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas
<b>IPP</b>	Política integrada relativa aos produtos
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>IV</b>	Viscosidade intrínseca
<b>LCA</b>	Análises do ciclo de vida
<b>LCI</b>	Inventários do ciclo de vida
<b>LDPE</b>	Polietileno de baixa densidade
<b>LER</b>	Lista Europeia de Resíduos
<b>LIFE</b>	Instrumento financeiro para o ambiente
<b>LLDPE</b>	Polietileno de baixa densidade linear
<b>MDL</b>	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
<b>MeOH</b>	Metanol
<b>MPa</b>	Megapascal (= 10 bar = 1000000 pascal)
<b>O</b>	Oxigénio
<b>OCDE</b>	Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Económico
<b>ONG</b>	Organização não governamental
<b>ONU</b>	Organização das Nações Unidas
<b>PEI</b>	Packaging Environmental Indicator
<b>PESGRI</b>	Plano Estratégico dos Resíduos Industriais
<b>PET</b>	Politereftalato de etileno
<b>PIB</b>	Produto Interno Bruto
<b>PIC</b>	Projectos de Implementação Conjunta
<b>PNAC</b>	Programa Nacional para as Alterações Climáticas
<b>PNAPRI</b>	Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais
<b>PP</b>	Polipropileno
<b>PRERESI</b>	Prevenção de Resíduos Industriais
<b>PRIME</b>	Programa de Incentivos à Modernização da Economia
<b>PS</b>	Poliestireno
<b>PTA</b>	Ácido tereftálico
<b>PVC</b>	Policloreto de vinilo
<b>RCE</b>	Reduções certificadas de emissões
<b>REACH</b>	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction
<b>REAI</b>	Regime de exercício da actividade industrial
<b>REAP</b>	Regime de exercício da actividade pecuária
<b>REPA</b>	Performing resource and environmental profile analysis

<b>RP</b>	Rendimento de Produção
<b>RSU</b>	Resíduos sólidos urbanos
<b>scCO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono supercrítico
<b>SDIs</b>	Indicadores de desenvolvimento sustentável
<b>SDS</b>	Estratégia da UE para o desenvolvimento sustentável
<b>SIGRE</b>	Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Embalagem e Reciclagem do Plástico
<b>SGA</b>	Sistema de Gestão Ambiental
<b>SMAUTs</b>	Sistemas Multimunicipais e Autarquias
<b>SPV</b>	Sociedade Ponto Verde
<b>SSP</b>	Solid state polycondensation (policondensação em estado sólido)
<b>Tg</b>	Temperatura de transição vítrea
<b>TJCE</b>	Tribunal de Justiça das Comunidades Europeias
<b>UE</b>	União Europeia
<b>UE-15</b>	Áustria, Bélgica, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Holanda, Portugal, Espanha, Suécia e Reino Unido
<b>UE-27</b>	Áustria, Bélgica, Bulgária, Chipre, República Checa, Dinamarca, Estónia, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Irlanda, Itália, Letónia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Holanda, Polónia, Portugal, Roménia, Eslováquia, Espanha, Suécia e Reino Unido.
<b>UNCTAD/ISAR</b>	United Nations Conference on Trade and Development /Initiative for Social Action Renewal
<b>UNECE</b>	Conselho Económico para a Europa
<b>UNEP</b>	Programa das Nações Unidas para o Ambiente
<b>UNFCCC</b>	United Nations Framework Convention on Climate Change
<b>UP</b>	Unidade de Produção
<b>URE</b>	Unidades de redução de emissões of Chemicals
<b>VERC</b>	Virtual European Recycling Center
<b>VOC</b>	Compostos orgânicos voláteis



## Índice de Matérias

Agradecimentos	ii
Dedicatória	iii
Sumário	iv
Subject	v
Simbologia e Notações	vi
Capítulo 1 – Apresentação	17
1.1 Introdução	17
1.2 Objectivo	25
1.3. Âmbito do estudo	26
1.4. Estrutura da dissertação	26
Capítulo 2 - Revisão das Políticas e legislação ambiental	28
2.1 Enquadramento	28
2.2 União Europeia	30
2.3 Legislação Internacional	58
2.4 Legislação Nacional	62
2.5 Síntese dos aspectos relevantes da legislação comunitária, internacional e nacional	71
Capítulo 3 - Revisão da literatura	74
3.1 Politereftalato de etileno (PET)	74
3.2 Reciclagem	84
3.2.1 Reciclagem mecânica	85
3.2.1.1 Separação	86
3.2.1.2 Moagem	87
3.2.1.3 Lavagem	87
3.2.1.4 Secagem	88
3.2.1.5 Extrusão	88
3.2.2 Reciclagem química	88
3.2.2.1 Quimólise do PET	89
3.2.2.1.1 Metanólise	90
3.2.2.1.2 Glicólise	90
3.2.2.2 Nova abordagem da quimólise do PET	91
3.2.2.2.1 Dióxido de carbono supercrítico (scCO <sub>2</sub> )	92

3.2.3 Reciclagem energética	96
3.3 Avaliação do Desempenho Ambiental	96
3.3.1 Indicadores para a Avaliação do Desempenho Ambiental	97
3.3.2 Categorias de indicadores para a Avaliação do Desempenho Ambiental	100
3.3.2.1 Indicadores de desempenho de gestão (IDG) sob o ponto de vista financeiro	101
3.3.2.2 Indicadores de desempenho de gestão (IDG) nas relações com a comunidade	102
3.3.2.3 Indicadores de desempenho operacional (IDO)	103
3.3.3 Contabilidade Ambiental	106
3.4 Ferramenta de gestão e optimização de sistemas complexos - UMBERTO®	107
3.5 Estudo científico semelhante ao presente estudo - <i>The Plastics Division of the American Chemistry Council</i>	108
3.6 Síntese da revisão da literatura	112
Capítulo 4 - Metodologia	113
4.1 Conceção do projecto e selecção da amostra	113
4.2 Recolha e análise de dados	117
Capítulo 5 - Caso de estudo	120
5.1 Introdução ao caso de estudo	120
5.2 Processo de reciclagem mecânica existente em Portugal	120
5.3 Representação do processo em fluxogramas	121
5.4 Modelação no software UMBERTO®	125
5.5 Apresentação e análise dos resultados	126
5.5.1 Energia eléctrica (1º nível da rede) - dados de entrada	127
5.5.1.1 Energia eléctrica no micro-processo de Lavagem (2º nível de rede) - dados de entrada	127
5.5.1.2 Energia eléctrica no micro-processo de Extrusão (2º nível de rede) - dados de entrada	128
5.5.2 Água da esfera (1º nível da rede) - dados de entrada	129
5.5.2.1 Água da esfera no micro-processo de Lavagem (2º nível da rede) - dados de entrada	130
5.5.3 Ar comprimido no micro-processo de Lavagem (2º nível da rede) - dados de entrada	131
5.5.4 Vapor no micro-processo de Lavagem (2º nível da rede) - dados de entrada	131
5.5.5. Água residual (1º nível da rede) - dados de saída	132

5.5.5.1 Água Residual no micro-processo Lavagem - dados de saída	133
5.5.6 Resíduos (1º nível da rede) - dados de saída	133
5.5.6.1 Resíduos indiferenciados no micro-processo de Lavagem (2º nível de rede) - dados de saída	135
5.5.6.2 Resíduos indiferenciados no micro-processo de Extrusão - dados de saída	136
5.5.7 Relação produto/resíduos no processo de reciclagem mecânica (1º nível da rede)	137
5.5.7.1 Relação produtos/resíduos no micro-processo de Lavagem (2º nível da rede)	138
5.5.7.2 Relação produtos/resíduos no micro-processo de Extrusão (2º nível da rede)	138
5.5.8 Fluxos de materiais e energia (1º nível da rede)	139
5.5.9 Comparação do processo de reciclagem mecânica português com outros estudos	140
5.5.9.1 Processo da Alemanha - resultados cedidos pelo Instituto IFEU	140
5.5.9.2 Estudo científico da <i>Franklin Associates</i> para a <i>The Plastics Division of the American Chemistry Council</i>	142
Capítulo 6 - Considerações finais	144
Capítulo 7 - Conclusão e Perspectivas Futuras	147
Bibliografia	149
Anexos	163
Anexo I - Fluxograma do Processo de reciclagem mecânica	163
Anexo II - Modelação no software UMBERTO®	173
Anexo III - Balanços de massa e energia ( <i>balance sheet input/output</i> ) do macro-processo reciclagem mecânica e dos micro-processos Lavagem e Extrusão	176

## Índice de Figuras

Figura 1.1: Crescimento da produção de polímeros em relação aos metais, aço e alumínio (BREF, 2007)

Figura 1.2: Principais utilizações dos polímeros em 2003 (BREF, 2007)

Figura 1.3: Produção de resíduos de embalagem *per capita* e por país (CSI 017, 2010)

Figura 1.4: Taxa de recolha e reciclagem dos resíduos de embalagem, em 2006 (Eurostat, 2009)

Figura 3.1: Monómero de politereftalato de etileno (PET) (Gorni, 2000)

Figura 3.2: Esquema sucinto de produção de PET a partir do ácido tereftálico (La Seda, 2008)

Figura 3.3: Esquema simplificado de produção da resina PET

Figura 3.4: A rota do poliéster (Catalana de Polímers S.A. e la Seda de Barcelona, S.A., 2002)

Figura 3.5: Representação das etapas básicas da reciclagem mecânica

Figura 3.6: Diagrama de fases pressão-temperatura do CO<sub>2</sub> (Jardim et al., 2006)

Figura 3.7. Diagrama de correlação entre densidade, pressão e temperatura, SCF = região do fluido supercrítico, NCF = região próxima ao líquido crítico = região subcrítica, CP = ponto crítico (Jardim et al, 2006)

Figura 3.8: Inter-relações da gestão e operações da Organização com o estado do ambiente (NP EN ISO 14031:2005)

Figura 3.9: Operações de uma Organização (esquema geral), (NP EN ISO 14031:2005)

Figura 4.1: Fluxograma do processo de reciclagem mecânica, 1º nível de rede

Figura 4.2: Exemplo do levantamento de dados de entrada e saída do processo de reciclagem mecânica, micro-processo Armazenagem de fardos

Figura 4.3: Base de dados de todas as entradas e saídas do processo de reciclagem mecânica, construída no software UMBERTO®

Figura 4.4: Representação gráfica no software UMBERTO® do processo de reciclagem mecânica, 1º nível da rede ou macro-processo

Figura 4.5: Introdução de dados de entrada e saída no software UMBERTO®

Figura 4.6: Construção de um diagrama Sankey no software UMBERTO®

Figura 4.7: Diagrama Sankey do processo de reciclagem mecânica

Figura 5.1: Comparação da energia eléctrica dos micro-processos de Lavagem e Extrusão

Figura 5.2: Energia eléctrica dos processos de 2º nível da Lavagem

Figura 5.3: Energia eléctrica dos processos de 2º nível da Extrusão

Figura 5.4: Comparação da água nos micro-processos Lavagem e Extrusão

Figura 5.5: Água nos processos de 2º nível da Lavagem

Figura 5.6: Ar comprimido nos processos de 2º nível da Lavagem

Figura 5.7: Vapor nos processos de 2º nível da Lavagem

Figura 5.8: Comparação da água residual dos micro-processos Lavagem e Extrusão

Figura 5.9: Água residual dos processos de 2º nível da Lavagem

Figura 5.10: Produtos de saída da reciclagem mecânica

Figura 5.11: Resíduos da reciclagem mecânica

Figura 5.12: Resíduos dos processos de 2º nível da Lavagem

Figura 5.13: Resíduos dos processos de 2º nível da Extrusão

Figura 5.14: Relação entre produto final, resíduos e subprodutos – 1º nível de rede

Figura 5.15: Relação entre escama de PET e resíduos da Lavagem – 2º nível de rede

Figura 5.16: Relação entre grânulos de PET e resíduos de Extrusão – 2º nível de rede

Figura 5.17: Diagrama Sankey do processo de reciclagem mecânica

Figura I.1 – Macro-processo, 1º nível de rede

Figura I.2 – Micro-processo Lavagem, 2º nível de rede

Figura I.3 – Processo Alimentação (micro-processo Lavagem), 3º nível de rede

Figura I.4 – Processo Pré-lavagem (micro-processo Lavagem), 3º nível de rede

Figura I.5 – Processo Triagem (micro-processo Lavagem), 3º nível de rede

Figura I.6 – Processo Moagem, fluxo cor (micro-processo Lavagem), 3º nível de rede

Figura I.7 – Processo Moagem, fluxo *clear* e *light blue* (micro-processo Lavagem), 3º nível de rede

Figura I.8 – Processo Lavagem 1 (micro-processo Lavagem), 3º nível de rede

Figura I.9 – Sub-processo Lavagem 2 (processo Lavagem 1 do micro-processo Lavagem), 4º nível de rede

Figura I.10 – Sub-processo Centrifugação (processo Lavagem 1 do micro-processo Lavagem), 4º nível de rede

Figura I.11 – Sub-processo Enxaguamento a quente (processo Lavagem 1 do micro-processo Lavagem), 4º nível de rede

Figura I.12 – Sub-processo Enxaguamento a frio (processo Lavagem 1 do micro-processo Lavagem), 4º nível de rede

Figura I.13 – Processo Secagem (do micro-processo Lavagem), 3º nível de rede (1ª parte)

Figura I.14 – Processo Secagem (do micro-processo Lavagem), 3º nível de rede (2ª parte)

Figura I.15 – Micro-processo Extrusão, 2º nível de rede

Figura I.16 – Processo Alimentação (do micro-processo Extrusão), 3º nível de rede

Figura I.17 – Processo Extrusão 1 (do micro-processo Extrusão), 3º nível de rede

Figura I.18 – Sub-processo Extrusora (do processo Extrusão 1 do micro-processo Extrusão), 4º nível de rede

Figura I.19 – Sub-processo Fieira (do processo Extrusão 1 do micro-processo Extrusão), 4º nível de rede

Figura I.20 – Processo Despoeiramento (do micro-processo Extrusão), 3º nível de rede

Figura I.21 – Processo Ensacamento (do micro-processo Extrusão), 3º nível de rede

Figura II.1: Macro-processo ou 1º nível de rede

Figura II.2: Micro-processo Lavagem, 2º nível de rede

Figura II.3: Processo Moagem, 3º nível de rede

Figura II.4: Processo Lavagem 1, 3º nível de rede

Figura II.5: Processo Extrusão, 2º nível de rede

Figura II.6: Processo Extrusão, 3º nível de rede

Figura III.1 – Balanço do processo de reciclagem mecânica

Figura III.2 – Balanço do micro-processo de Lavagem

Figura III.3 – Balanço do micro-processo de Extrusão

## Índice de Quadros

Quadro 1.1: Metas estabelecidas na Directiva de Embalagens e Resíduos de Embalagens (Jornal Oficial da União Europeia L 365, 31/12/1994, P. 0010 - 0023 e Jornal Oficial da União Europeia L 047, 18/02/2004, P. 0026 – 0032)

Quadro 1.2: Quantidades retomadas em comparação com as embalagens colocadas no mercado, em toneladas (Plastval tsdcc320, 2008)

Quadro 2.1: Reprodução de página do 4º relatório do IPCC, 2007, página 776, tabela 13.7.

Quadro 3.1: Dados de emissões e consumos do processo de produção de PET amorfo (BREF, 2007)

Quadro 3.2: Dados de emissões e consumos do processo de SSP (BREF, 2007)

Quadro 3.3: Características gerais do PET (van der Vegt e Govaert, 2002)

Quadro 3.4: Ordens de magnitude de parâmetros físicos para gases, fluídos supercríticos e líquidos (Taylor, 1996)

Quadro 3.5: Propriedades críticas de vários compostos (Reid et al., 1987)

Quadro 3.6: Indicadores relevantes para todas as Organizações. (Dantes, 2010)

Quadro 3.7: Dados extraídos do quadro 2.9 do relatório *Life Cycle Inventory of 100% postconsumer HDPE and PET recycled resin from postconsumer containers and packaging* (Franklin Associates, 2010)

Quadro 4.1: Resumo das fases do projecto

Quadro 5.1: Dados da Alemanha, dados médios para reciclagem mecânica de PET utilizável para produzir novas embalagens (IFEU, 2008)

Quadro 5.2: Dados do processamento de escamas de PET reciclado, extraídos da tabela 2-9 do relatório *Life cycle inventory of 100% postconsumer HDPE and PET recycled resin from postconsumer containers and packaging* (Franklin Associates, 2010)

Quadro 5.3: Valores relativos do processo de Lavagem português, calculados a partir dos dados da figura III.2, do anexo III



## CAPÍTULO 1 – APRESENTAÇÃO

### 1.1 INTRODUÇÃO

Desde 1950 tem-se verificado um aumento médio anual na produção e consumo de plásticos, a nível mundial, de 9 % (Plastics Europe, 2009). O consumo mundial de plásticos cresceu de cerca de 170 milhões de toneladas em 2000 para cerca de 200 milhões de toneladas em 2004 e presumia-se um aumento para 260 milhões de toneladas em 2010 (Sarvestani, 2005). Este aumento contínuo reverteu em 2008, como consequência directa da crise financeira global, a qual afectou todos os sectores. A produção global de plástico em 2008 caiu para 245 milhões de toneladas face aos 260 milhões de toneladas de 2007 (Plastics Europe, 2009).

Os maiores produtores mundiais de plásticos são os EUA com uma quota de mercado de 27,2 %, o Japão com 8,9 % e a Alemanha com 7,9 % (BREF, 2007). A Europa produziu 60 milhões de toneladas de plástico em 2008 contribuindo com 25 % do total global (Plastics Europe, 2009).

A figura nº 1.1 ilustra o crescimento da produção dos plásticos em relação ao aço e alumínio, ao longo de várias décadas.

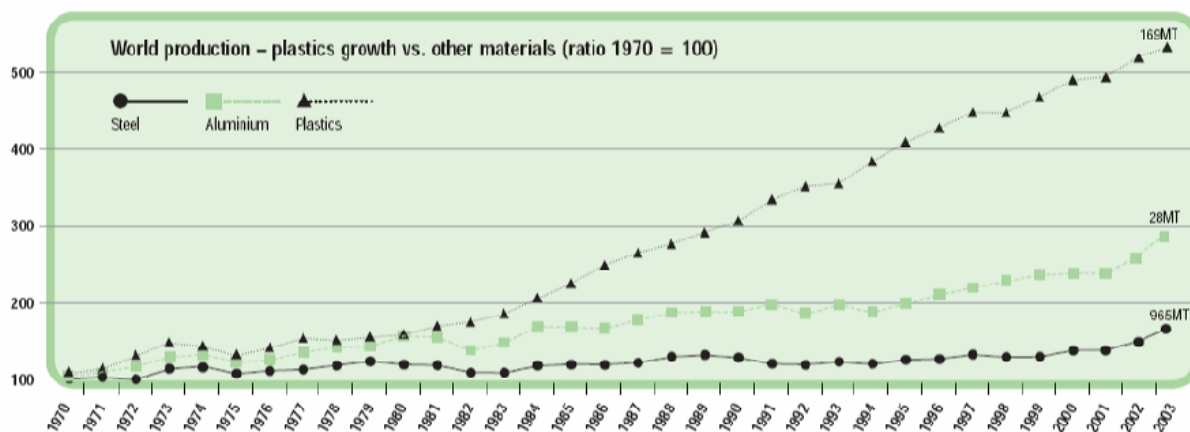


Figura 1.1: Crescimento da produção de polímeros em relação aos metais, aço e alumínio (BREF, 2007)

A análise do consumo de plástico *per capita* mostra que este aumentou para 100 kg por ano de NAFTA, na Europa Ocidental. Esta região tem potencial de crescimento de aproximadamente 140 kg per capita em 2015. A zona de maior potencial de crescimento são os países asiáticos de rápido desenvolvimento (excluindo o Japão), onde o consumo actual per capita é de apenas 20 kg. Na Europa, os novos Estados Membros esperam ter o aumento percentual mais significativo, com o desenvolvimento das suas economias (Plastics Europe, 2009).

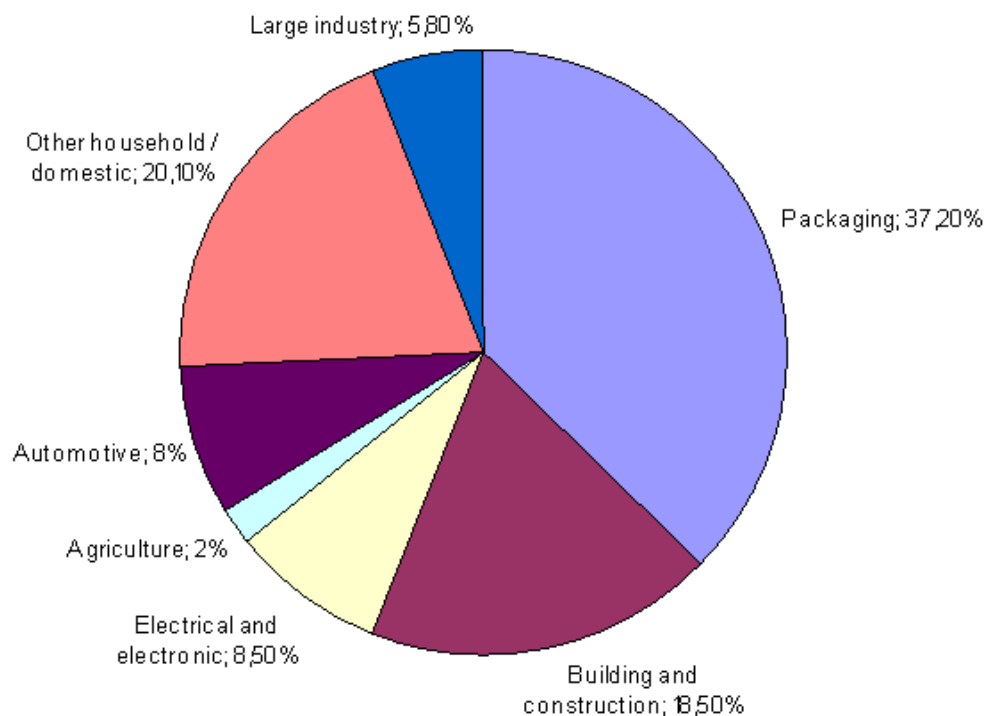
Existem cerca de 20 grupos de plásticos distintos, cada um com vários graus (*grades*) disponíveis de modo a facilitar a melhor escolha para cada aplicação específica. Existem cinco famílias de plásticos de grande volume, nomeadamente (Plastics Europe, 2009):

- Polietileno, nas variedades de baixa densidade (LDPE), baixa densidade linear (LLDPE) e alta densidade (HDPE);
- Polipropileno (PP);
- Policloreto de vinilo (PVC);
- Poliestireno (nas variedades de sólido (PS) e expandido (EPS));
- Politereftalato de etileno (PET).

Estes 5 grupos juntos representam 75 % de toda a procura de plástico na Europa. Em 2008, todos estes grupos verificaram uma queda na procura, entre 1 a 11 %, com uma média de 7,5 % (Plastics Europe, 2009).

O grande problema dos plásticos reside na sua curta vida útil o que conduz a um rápido aumento da corrente de resíduos, como é o caso das embalagens (Goje e Mishra, 2003). Nos EUA, são as embalagens que mais resíduos produzem, representando 31 % do total de resíduos sólidos municipais que depois têm dois destinos, ou seguem para aterro ou para reciclagem. Nos EUA no ano 2006, as embalagens de plástico representaram 3,7 milhões de toneladas onde apenas 9 % foram recicladas (Recicla, Julho, Agosto e Setembro 2007).

Tal como a figura 1.2 ilustra, no ano de 2003, na Europa Ocidental a embalagem representou 37,2 % das aplicações dos plásticos. (BREF, 2007)



**Figura 1.2: Principais utilizações dos polímeros em 2003 (BREF, 2007)**

Em 2008 verificou-se que a embalagem manteve-se como sendo a aplicação dos plásticos mais representativa, com uma quota de 38 %, seguida das indústrias da construção com 21 %, automóvel com 7 %, eléctrica e electrónica com 6 %. As outras aplicações, as quais incluem aplicações médicas e de lazer representam 28 % (Plastics Europe, 2009).

Na União Europeia (UE) verifica-se um aumento da quantidade de embalagens *per capita* que são colocadas no mercado, tanto nos Estados membros antigos como nos estados aderentes (CSI 017, 2010). Tal não está em linha com o objectivo principal da Directiva de Embalagens e Resíduos de Embalagens (Directiva 94/62/CE, alterada pelo Regulamento nº 1882/2003 e pelas Directivas 2004/12/CE e 2005/20/CE), a qual aponta para a redução da produção destes resíduos.

A produção de resíduos de embalagem *per capita* varia dependendo dos países, como se pode verificar na figura 1.3. Apenas o Reino Unido e a Áustria têm diminuído a sua produção *per capita* de resíduos de embalagem, desde 1997. Nos restantes países, as quantidades têm aumentado (CSI 017,2010).

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
<b>Austria</b>	138	140	141	146	137	132	142	134
<b>Belgium</b>	133	140	145	146	138	144	156	155
<b>Denmark</b>	172	158	159	160	161	159	177	175
<b>Finland</b>	81	82	86	86	88	87	118	124
<b>France</b>	190	199	205	212	208	206	204	204
<b>Germany</b>	167	172	178	184	182	187	187	188
<b>Greece</b>	68	76	81	88	92	94		
<b>Ireland</b>	164	184	187	209	212	217	202	205
<b>Italy</b>	166	188	193	194	195	197	200	209
<b>Luxembourg</b>	181	181	182	182	181	191	194	204
<b>Netherlands</b>	176	161	164	182	186	193	208	197
<b>Portugal</b>	84	102	120	123	127	128		135
<b>Spain</b>	147	159	155	164	146	156	173	172
<b>Sweden</b>	104	108	110	110	114	115	158	164
<b>United Kingdom</b>	171	175	157	156	158	167	168	170
<b>EU15</b>	160	168	169	174	172	176	174	179
<b>Cyprus</b>								174
<b>Czech Republic</b>						82	71	76
<b>Estonia</b>								98
<b>Hungary</b>						78		81
<b>Latvia</b>								103
<b>Lithuania</b>								69
<b>Poland</b>								89
<b>Slovakia</b>							77	69
<b>Slovenia</b>								81
<b>EU 25</b>								168

**Figura 1.3 – Produção de resíduos de embalagem *per capita* e por país (CSI 017, 2010)**

Existem grandes variações no consumo de embalagens *per capita* entre os Estados Membros, desde 241 kg/capita na Irlanda a 95 kg/capita na Grécia e 56 kg/capita na Bulgária e Eslovénia (2006). A média na UE-27 em 2006 foi de 165 kg/capita. Existem claras diferenças entre os países da UE-15 e os novos Estados Membros reflectindo diferentes níveis de consumo de embalagens. As variações entre os países da UE-15 também são difíceis de explicar, contudo reflectem também diferenças nos modelos de produção e consumo desses países (CSI 017, 2010).

Entre 1998 e 2006 o crescimento da produção de resíduos de embalagens na EU-15 quase acompanhou o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB): os resíduos aumentaram 15,5 % e o PIB 20 %, em igual período. Porém, a partir de 2001 o crescimento da produção de resíduos de embalagem tem sido mais rápido que o crescimento do PIB (Plastics Europe,

2009). Contudo, o objectivo da UE de reciclar 25 % dos resíduos de embalagem em 2001 foi atingido e até excedido significativamente em todos os países da UE-15 (quadro 1.1). Em 2006, treze dos vinte e sete Estados Membros tinham já atingido o objectivo mínimo de reciclagem para 2008. A taxa de reciclagem na EU-15 aumentou de 45 % em 1997 para 59 % em 2006. A taxa de reciclagem média na UE-27 atingiu 57 % em 2006, excedendo o objectivo de 55 % estabelecido para 2008 (CSI 017, 2010).

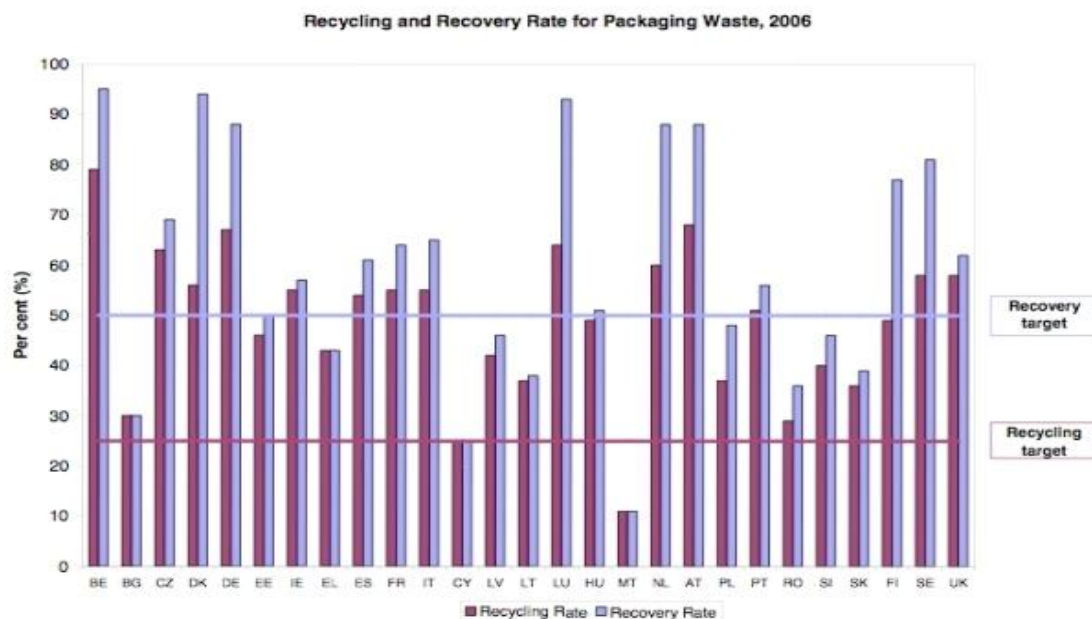
Tal como acontece com o consumo de embalagens *per capita*, em 2006 a taxa de reciclagem total nos Estados Membros apresentou grandes diferenças, 25 % no Chipre e 79 % na Bélgica. As diferenças de execução entre os Estados Membros sugerem a existência de potencial de melhoria. Para atingir os objectivos, vários Estados Membros introduziram a responsabilidade do produtor e estabeleceram esquemas de reciclagem de embalagens. Outros países melhoraram os seus sistemas de recolha e reciclagem (CSI 017, 2008).

Por peso	Objectivos da Directiva 94/62/EC	Objectivos da Directiva 2004/12/EC
Objectivos de recolha	min. 50 %, max. 65 %	min. 60 %
Objectivo de reciclagem	min. 25 %, max. 45 %	min. 55 %, max.80 %
Prazo para obtenção dos objectivos	30 de Junho de 2001	31 de Dezembro de 2008

**Quadro 1.1: Metas estabelecidas na Directiva de Embalagens e Resíduos de Embalagens (Jornal Oficial da União Europeia L 365, 31/12/1994 P. 0010 - 0023 e Jornal Oficial da União Europeia L 047 , 18/02/2004 P. 0026 – 0032)**

**Nota:** Grécia, Irlanda, Portugal e UE-12 têm derrogações individuais para atingir os novos objectivos. Dependendo do país, os objectivos poderão ser atingidos de 3 a 7 anos mais tarde.

No ano 2005, foram recicladas na Europa 12 milhões de toneladas de embalagens usadas. Este número deverá subir para 15 ou 18 milhões de toneladas nos próximos anos, devido ao lançamento dos novos sistemas em países como os da Europa de Leste (Revista Recicla, Setembro, Outubro, Novembro 2006). A figura 1.4 apresenta a taxa de recolha e reciclagem dos resíduos de embalagem na UE, em 2006.



**Figura 1.4: Taxa de recolha e reciclagem dos resíduos de embalagem, em 2006 (Eurostat, 2009)**

Tendo em conta a representatividade dos fluxos de embalagens e das embalagens de plástico e para cumprimento das disposições legais constituídas na Directiva Comunitária 94/62/CE (Directiva Embalagens) houve a necessidade de se criarem entidades gestoras destes resíduos. De acordo com a legislação comunitária transposta para o ordenamento jurídico nacional, a responsabilidade pela gestão e destino final dos resíduos de embalagens cabe aos operadores económicos que colocam embalagens no mercado. Contudo, essa responsabilidade pode, nos termos da lei, ser delegada numa entidade devidamente licenciada para o efeito (Ponto Verde, 2009). No âmbito nacional, foi licenciada pelos Ministros da Economia e do Ambiente, a 1 de Outubro de 1997, a Sociedade Ponto Verde (SPV), entidade privada sem fins lucrativos, com a missão de promover a recolha selectiva, a retoma e a reciclagem de resíduos de embalagens a nível nacional segundo um sistema integrado – Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Embalagem (SIGRE).

O SIGRE é um conjunto articulado de responsabilidades e processos, que segue uma lógica de circuito fechado. Visa promover a recolha selectiva dos resíduos sólidos urbanos, a triagem e a reciclagem, com finalidade última de contribuir para a diminuição do volume de resíduos depositados em aterro (netResíduos, 2009).

A Plastval é uma Sociedade Anónima sem fins lucrativos, criada em Novembro de 1996 por um conjunto de indústrias representativas do sector do plástico. Representa junto da SPV, através da Interfileiras - organização que congrega todas as Fileiras de materiais e que detém 20% do capital da SPV, a indústria de plásticos nas suas diversas vertentes, ou seja, os produtores de matérias-primas, os transformadores, os embaladores e os recicladores. Enquanto Fileira do Plástico, é responsável pela valorização dos resíduos de embalagem de plástico provenientes da recolha selectiva e triagem (sector urbano e industrial) fazendo-os chegar à indústria recicladora de acordo com as especificações técnicas e legislação em vigor (Plastval, 2009).

Nos diplomas legais que transpuseram a Directiva Comunitária 94/62/CE, nomeadamente o Decreto-Lei 366-A/97, alterado pelo Decreto-Lei 162/2000 e a Portaria 29-B/98, foram estabelecidas metas para a reciclagem dos resíduos de embalagens de vários materiais. Foi estabelecido que até final de 2005, a reciclagem dos resíduos de embalagens deveria atingir pelo menos 15% por material e 25% no conjunto de todos os resíduos de embalagem (todos os materiais). A Directiva Embalagens foi alterada pela Directiva 2004/12/CE e transposta para direito nacional através do Decreto-Lei 92/2006. Nestes diplomas foram estabelecidas metas mais ambiciosas tendo sido deliberado que Portugal deverá reciclar em 2011 pelo menos 22,5% do total de embalagens de plástico colocadas no mercado.

Em 2005, o total de embalagens de plástico retomadas pelo Sistema Ponto Verde foi de 36.750 toneladas, como está patente no quadro 1.2. Porém, a quantidade de embalagens colocadas no mercado foi de cerca de 350.000 toneladas, o que significa que apenas 10,5 % dos resíduos foram correctamente encaminhados (Plastval, 2008).

Quantidade Retomadas em comparação com as embalagens colocadas no mercado (ton)							
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Embalagens colocadas no mercado	267.700	286.600	303.400	325.000	330.000	340.000	350.000
Quantidades Retomadas	1.003	3.800	11.300	15.150	20.500	25.800	36.750

**Quadro 1.2: Quantidades retomadas em comparação com as embalagens colocadas no mercado, em toneladas (Plastval tsdccc320, 2008)**

As retomas de resíduos de embalagens por parte da Sociedade Ponto Verde (SPV) atingiram as 464.581 toneladas em 2007, o que representou um acréscimo de 26 % face ao volume de 2006. Considerando as retomas por tipo de materiais, verificou-se que o plástico cresceu 34 % (Recicla, 2008).

Em 2008, a reciclagem de resíduos de embalagens de plástico teve um aumento de 39% face ao ano anterior, correspondendo ao encaminhamento de 74.057 toneladas em comparação com 53.232 toneladas em 2007. Porém, em 2008 a quantidade de embalagens de plástico colocadas no mercado foi de 387.872 toneladas. A taxa nacional de reciclagem de plástico é calculada tendo em conta as quantidades encaminhadas para reciclagem e a quantidade estimada de embalagens de plástico colocadas no mercado, assim em 2008 a taxa ascendeu a 19 %. No 1º semestre de 2009 foram reciclados 35.717 toneladas de resíduos de plástico, sendo que 26.902 toneladas corresponderam a embalagens. (Boletim Estatístico Interfileiras, 2009).

Actualmente, o politereftalato de etileno (PET) é um dos polímeros sintéticos mais utilizados devido ao grande crescimento de aplicações. A produção mundial de PET em 2002 foi de 26 milhões de toneladas, porém é expectável que atinja 55 milhões de toneladas em 2010 (Fradet e Tessier, 2003). Na EU-15, no ano de 2003 o consumo de PET representou uma quota de 7,8 % relativamente ao consumo total de plásticos (termoplásticos e termoendurecíveis) (BREF, 2007).

As operações industriais que envolvem PET produzem uma quantidade substancial de material fora de especificação (cerca de 2% da produção total), que não podem ser reutilizados nem vendidos como produto. A acrescer a estes, estão todos os resíduos pós-consumo ligados à produção de embalagens (NAPCOR, 2009). A reciclagem do PET aporta não só a vantagem ambiental de redução do impacte dos resíduos de embalagens, mas também a economia de matérias-primas e de energia (Goje e Mishra, 2003). A reciclagem de PET é uma operação corrente há vários anos, no que diz respeito aos resíduos pós-consumo. Os requisitos para a reciclagem deste tipo de material são, no entanto, muito diferentes dos requisitos para a reciclagem de resíduos industriais. Enquanto no primeiro caso, os principais problemas estão associados ao mau uso e à contaminação, no segundo estão relacionados com as elevadas concentrações de monómero e/ou com as fracas propriedades físicas, por exemplo massa molecular fora de especificação, mas baixos níveis de contaminação (Awaja e Pavel, 2005).

A viabilidade de uma unidade de reciclagem depende da produção de produtos de elevado valor. Com vista a expandir a reciclagem, têm que ser criadas novas abordagens que possam potenciar a utilização dos desperdícios de PET convertendo-os em materiais adequados para aplicações de elevado valor acrescentado tais como em garrafas ou outros materiais de embalagem alimentar (Goje e Mishra, 2003). Actualmente, a maior aplicação do PET reciclado é o mercado de fibras têxteis, o qual representa 45 %. Contudo, existem



outras aplicações para o PET reciclado, nomeadamente, o fabrico de filme/folha, cintas plásticas e garrafas. Em 2008, 20 % do PET reciclado foi utilizado para fabricar garrafas para bebidas carbonatadas, sumos de fruta e água, bem como embalagens para produtos de higiene pessoal/toilette e limpeza. (Petcore, 2009).

Tal como em outros países, em Portugal já existe a reciclagem do PET pelo processo de *bottle-to-bottle*, através da reciclagem mecânica, que abre caminho à produção de embalagens PET para contacto alimentar, com percentagens de incorporação de 20 a 50% de R-PET (sigla para PET reciclado). Com a tecnologia *bottle-to-bottle* a embalagem fecha o circuito de valorização (Plastval, 2008).

Actualmente, em Portugal existe apenas uma empresa dedicada à reciclagem das embalagens de PET pós-consumo. Nesta unidade industrial são recebidas todas as embalagens pós-consumo provenientes da recolha selectiva e ainda embalagens provenientes de outras indústrias, as quais são sujeitas a reciclagem mecânica.

Devido à existência de poucas abordagens e ausência de diversificação do tratamento das embalagens de PET pós-consumo em Portugal importa pois avaliar se essa técnica esta em linha com as políticas ambientais europeias, nomeadamente o sexto programa comunitário de acção em matéria de ambiente e mais concretamente as estratégias temáticas sobre a utilização sustentável dos recursos naturais e da prevenção e reciclagem de resíduos, e se é a mais indicada no contexto actual ou se devem ser estudados novos caminhos.

## **1.2. OBJECTIVO**

Tendo por base o sexto programa comunitário de acção em matéria de Ambiente e mais especificamente as estratégias temáticas sobre a utilização sustentável dos recursos naturais e da prevenção e reciclagem de resíduos importa avaliar se o método de reciclagem mecânica de embalagens de PET existente em Portugal é o mais indicado no contexto das políticas ambientais europeias.

### 1.3. ÂMBITO DO ESTUDO

Esta investigação refere-se ao polímero PET (politereftalato de etileno) fabricado para ser utilizado na indústria de embalagem, maioritariamente alimentar, e mais especificamente às embalagens de PET descartadas seja após consumo (resíduos pós-consumo) seja devido a problemas de fabrico (resíduos industriais).

Pretende-se analisar o método de reciclagem mecânica utilizado em Portugal, sendo que, actualmente existe apenas uma única empresa portuguesa a realizar a reciclagem de embalagens pós-consumo em PET. O processo de reciclagem desta empresa compreende 2 fases, a lavagem e a extrusão.

Como ferramenta de gestão e optimização de sistemas foi utilizado o software UMBERTO<sup>®</sup>, o qual permite efectuar análises de fluxos de materiais e energia de um processo, de uma unidade industrial ou do ciclo de vida de um produto. Este software foi utilizado para modelar o processo de reciclagem mecânica português e os fluxos de **entradas** e **saídas** foram analisados.

### 1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação encontra-se organizada em sete capítulos, estruturados da seguinte forma:

- O capítulo 1 efectua a apresentação, introduzindo o estudo em causa. Nesta secção o problema é enquadrado e é identificado o contexto que o justifica.
- No capítulo 2 encontra-se a revisão da legislação a nível comunitário, internacional e nacional com enfoque na reciclagem, embalagens e resíduos.
- O capítulo 3 contem uma revisão da literatura incidindo no material objecto do estudo (PET), na reciclagem, na avaliação do desempenho ambiental e no software utilizado no caso de estudo.
- No capítulo 4 descrevem-se os procedimentos metodológicos empregues no processo de estudar o problema em questão.
- No capítulo 5 apresenta-se o caso de estudo, descrevendo-se o processo de reciclagem mecânica de PET actualmente existente em Portugal e são apresentados e discutidos os resultados obtidos.

- No capítulo 6 encontram-se algumas considerações finais relativas ao objectivo considerado.
- No capítulo 7 apresentam-se as conclusões e é sugerido um tema a desenvolver em trabalho futuro.

A bibliografia que serviu de base à elaboração deste trabalho, seguida de três anexos que contêm toda a documentação de suporte, numerados do I ao III, completam o conteúdo da dissertação.

## **CAPÍTULO 2 - REVISÃO DAS POLÍTICAS E LEGISLAÇÃO AMBIENTAL**

Neste capítulo é desenvolvido um enquadramento legislativo, onde serão mencionados os principais diplomas legais com maior relevância para a análise que se pretende efectuar, no âmbito da reciclagem.

Esta revisão incorpora a legislação comunitária, internacional e nacional, com maior enfoque na primeira pois é a que está subjacente ao estudo em questão.

### **2.1 ENQUADRAMENTO**

O plástico está, nas suas mais diversas formas, presente no dia-a-dia de cada um de nós e, na maioria das vezes, nem damos conta da sua importância nos mais ínfimos aspectos da vida humana. O plástico é indissociável do estilo de vida moderno.

As cadeias de moléculas constituintes dos plásticos, apesar de serem parecidas com outras que existem na Natureza, não podem ser destruídas pelos microrganismos, bactérias e fungos, por serem sintetizadas pelo Homem, ou seja, por serem completamente artificiais. As bactérias e fungos não conseguem digerir essas cadeias porque, por terem um número limitado de enzimas, só conseguem quebrar as ligações moleculares do que é produzido pela Natureza. Por este facto é que os plásticos são praticamente eternos (FCT.UNL, 2008; Awaja e Pavel, 2005).

O consumo dos plásticos aumentou muito desde o seu aparecimento no mercado. Estes petroquímicos substituíram, parcialmente e por vezes totalmente, muitos materiais naturais tais como a madeira, o algodão, o papel, a lã e a pele (Sarvestani, 2005).

As suas extraordinárias características físicas e químicas e diferentes aplicações possíveis, os preços competitivos muitas vezes inferiores ao dos produtos naturais e o facto de o petróleo oferecer uma maior disponibilidade de materiais sintéticos que outras fontes naturais foram os factores que favoreceram o mercado dos plásticos (Plastval, 2009).

Como se sabe o petróleo levou milhões de anos a formar-se, logo, não é renovável no horizonte útil das nossas sociedades e do nosso tempo histórico. Porém, é de destacar que só 4% do consumo total do petróleo se utiliza para fabricar materiais plásticos. O aquecimento é responsável por 35 %, o transporte 29 %, a energia 22 %, os produtos químicos 7 % (dos quais 4 % são para plásticos) e os restantes 7 % são utilizados noutras situações (Plastval, 2009).

Tal como referido anteriormente, o grande problema dos plásticos reside na sua curta vida activa o que conduz a um rápido aumento da corrente de resíduos, como é o caso das embalagens. A reciclagem é da máxima importância pois permite a poupança de matérias-primas não renováveis como o petróleo, redução do consumo de energia na fabricação de materiais plásticos, transformação de produtos de vida curta (embalagens) em produtos de vida longa, redução dos encargos com a remoção e tratamento de resíduos (Goje e Mishra, 2003).

Desenvolvimento Sustentável é aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas. O conceito de desenvolvimento sustentável foi usado pela primeira vez em 1987 no relatório da Comissão Mundial para o Ambiente e Desenvolvimento (Comissão Brundtland) e, subsequentemente, na Cimeira da Terra da Organização das Nações Unidas que se realizou no Rio de Janeiro em 1992. Este conceito baseia-se, sobretudo, no princípio de que a definição das políticas deve pautar-se por uma visão de longo prazo e ter em conta as interligações existentes entre os vários domínios de intervenção, objectivos e acções.

O sexto programa de acção em matéria de ambiente, o qual cobre o período decorrente entre 22 de Julho de 2002 e 21 de Julho de 2012, é o principal instrumento responsável pela implementação da política ambiental no espaço comunitário, definindo as prioridades da Comunidade Europeia até 2010. Os recursos naturais e os resíduos fazem parte dos domínios prioritários, definidos no programa, intitulado "Ambiente 2010: o nosso futuro, a nossa escolha". A UE define as prioridades e objectivos da política ambiental europeia até 2010 e para além desta data, e enumera as medidas a tomar no sentido de contribuir para a aplicação da sua estratégia em matéria de desenvolvimento sustentável.

## **2.2. UNIÃO EUROPEIA**

### **2.2.1 Comunicação da Comissão ao Conselho, ao Parlamento Europeu, ao Comité Económico e Social e ao Comité das Regiões, de 24 de Janeiro de 2001, relativa ao sexto programa comunitário de acção em matéria de ambiente "Ambiente 2010: o nosso futuro, a nossa escolha" [COM(2001)0031].**

A comunicação assinala que, para fazer face aos desafios ambientais da actualidade, há que ultrapassar a abordagem estritamente legislativa e enveredar por uma abordagem estratégica a qual deve utilizar diversos instrumentos e medidas para influenciar a tomada de decisões nos círculos empresariais, políticos, dos consumidores e dos cidadãos. A comunicação propõe cinco eixos prioritários de acção estratégica: melhorar a aplicação da legislação em vigor, integrar o ambiente nas demais políticas, colaborar com o mercado, implicar os cidadãos e modificar o seu comportamento e ter em conta o ambiente nas decisões relativas ao ordenamento e à gestão do território. Para cada um destes eixos, são propostas acções específicas.

#### **2.2.1.1 Gestão dos recursos naturais e dos resíduos**

O objectivo é garantir que o consumo de recursos renováveis e não renováveis não ultrapasse os limites do que o ambiente pode suportar, dissociando o crescimento económico da utilização dos recursos, melhorando a eficácia da sua utilização e diminuindo a produção de resíduos. No que respeita aos resíduos, o objectivo específico é reduzir o seu volume final em 20% até 2010 e em 50% até 2050.

As acções a realizar são as seguintes:

- Elaboração de uma estratégia para a gestão sustentável dos recursos, estabelecendo prioridades e reduzindo o consumo;
- Fiscalização da utilização dos recursos;
- Eliminação das subvenções que promovem a utilização excessiva dos recursos;
- Integração do princípio da utilização eficaz dos recursos no âmbito da política integrada de produtos, dos sistemas de atribuição do rótulo ecológico e dos sistemas de avaliação ambiental;
- Elaboração de uma estratégia para a reciclagem dos resíduos;

- Melhoria dos sistemas existentes de gestão dos resíduos e investimento na prevenção quantitativa e qualitativa;
- Integração da prevenção dos resíduos na política integrada de produtos e na estratégia comunitária relativa às substâncias químicas.

O programa de acção prevê a adopção de sete estratégias temáticas sobre:

- poluição atmosférica;
- meio marinho;
- utilização sustentável dos recursos;
- prevenção e reciclagem dos resíduos;
- utilização sustentável dos pesticidas;
- protecção dos solos;
- ambiente urbano.

A estratégia de prevenção e reciclagem de resíduos define orientações e estabelece medidas para reduzir as pressões ambientais decorrentes da produção e da gestão de resíduos. Os principais eixos da estratégia incidem numa alteração da legislação, com vista a reforçar a sua aplicação, na prevenção da produção de resíduos e na promoção de uma reciclagem eficaz.

### **2.2.2 Comunicação da Comissão, de 21 de Dezembro de 2005, intitulada : “Estratégia temática sobre a utilização sustentável dos recursos naturais” [COM (2005) 670]**

Esta estratégia fixa as orientações para a acção da UE nos próximos 25 anos e tem em vista a utilização mais eficaz e mais sustentável dos recursos naturais ao longo de todo o seu ciclo de vida. O objectivo da estratégia é reduzir os impactes ambientais negativos provocados pela utilização dos recursos naturais (esgotamento dos recursos e poluição), respeitando simultaneamente os objectivos fixados no Conselho Europeu de Lisboa em matéria de crescimento económico e de emprego. A estratégia abrange todos os sectores consumidores de recursos e implica melhorar o rendimento dos recursos, reduzir a sua incidência no ambiente e substituir os recursos demasiado poluentes por outras soluções.

Nesta fase, não são estabelecidos quaisquer objectivos quantitativos, mas a estratégia prevê a possibilidade de se estabelecerem tais objectivos nos próximos anos, quando os

conhecimentos sobre a utilização dos recursos e os indicadores da sua evolução estiverem suficientemente desenvolvidos e passíveis de serem explorados.

A presente estratégia, graças à sua abordagem baseada no ciclo de vida dos recursos e à partilha de informações fiáveis, deverá contribuir para uma melhor eco-eficácia da utilização dos recursos e para uma passagem para modos de produção e de consumo mais sustentáveis.

A estratégia para a utilização sustentável dos recursos naturais é uma das sete estratégias temáticas previstas pelo sexto programa de acção em matéria de ambiente adoptado em 2002.

### **2.2.3 Comunicação da Comissão, de 21 de Dezembro de 2005, "Avançar para uma utilização sustentável dos recursos: Estratégia Temática de Prevenção e Reciclagem de Resíduos" [COM (2005) 0666]**

Esta estratégia estabelece as orientações para a acção da UE e descreve os meios que permitirão melhorar a gestão de resíduos.

O objectivo é reduzir os impactes ambientais negativos gerados pelos resíduos ao longo do seu ciclo de vida, desde que são produzidos até à sua eliminação, passando pela reciclagem. Esta abordagem permite considerar cada resíduo, não apenas como uma fonte de poluição a reduzir, mas também como um recurso potencial a explorar.

Os objectivos da legislação comunitária definidos antes da adopção desta estratégia continuam válidos: limitar a produção de resíduos e promover a sua reutilização, reciclagem e valorização. Esses objectivos estão integrados numa abordagem assente no impacte ambiental e no ciclo de vida dos recursos.

Esta estratégia prevê a simplificação do quadro legal em vigor. Passa, nomeadamente, pela fusão da directiva-quadro relativa aos resíduos (Directiva 2006/12/CE até ao final de 2010, e posteriormente Directiva 2008/98/CE) com as directivas sobre resíduos perigosos e óleos usados, pela eliminação das sobreposições existentes na directiva-quadro relativa aos resíduos e na Directiva IPPC (Directiva 2008/1/CE), nomeadamente no que diz respeito à atribuição de licenças, bem como pela consolidação das três directivas sobre os resíduos produzidos pela indústria do dióxido de titânio.



São clarificadas algumas noções, nomeadamente:

- Definição de critérios ambientais para determinar o fim do ciclo de vida de um resíduo. Esses critérios serão definidos para certos tipos de resíduos em relação aos quais a actual definição gera dúvidas jurídicas e custos administrativos;
- É proposta uma nova definição para as actividades de valorização e de eliminação, de modo a promover as melhores práticas ambientais. Neste contexto, são introduzidos níveis de eficácia, com vista a estabelecer a distinção entre as actividades de valorização e as actividades de eliminação;
- Definição de reciclagem.

#### **2.2.3.1 Prevenção do impacte negativo dos resíduos**

Embora preveja a redução da produção de resíduos, esta estratégia não inclui qualquer objectivo quantitativo global nesta área pois este tipo de objectivos não conduz necessariamente a melhorias ambientais. Com efeito, ainda que permitam uma diminuição mais significativa em termos de volume, certas técnicas de redução do volume de resíduos revelam-se mais poluentes que outras.

A estratégia no domínio da prevenção da produção de resíduos incide essencialmente na redução do impacte ambiental dos resíduos e produtos destinados a converterem-se em resíduos. Para ser eficaz, a redução do impacte deve aplicar-se a todo o ciclo de vida dos recursos. A aplicação dos instrumentos criados no âmbito da legislação comunitária em vigor, nomeadamente a difusão das melhores técnicas disponíveis e a concepção ecológica dos produtos é, por conseguinte, uma condição importante do seu sucesso.

Além disso, a estratégia oferece um quadro coordenado para acções nacionais específicas. Assim, a nova proposta de directiva-quadro relativa aos resíduos prevê a obrigação de os Estados-Membros elaborarem programas de prevenção da produção de resíduos. Estes programas compreendem objectivos específicos de prevenção, a atingir ao nível mais adequado, e devem ser colocados à disposição do público.

Esta abordagem, baseada no ciclo de vida dos produtos e dos resíduos, implica o reforço dos conhecimentos sobre o impacte da utilização dos recursos na produção e gestão de resíduos, além de recorrer de forma mais sistemática a projecções e modelizações.

Esta abordagem vem complementar as abordagens constantes, nomeadamente, da Directiva IPPC, da directiva relativa à política integrada dos produtos (Livro Verde de

07/02/2001) e da estratégia de utilização dos recursos naturais [COM (2005) 670]. Permite reduzir as pressões ambientais (esgotamento e poluição) em cada etapa do ciclo de vida dos recursos, incluindo a produção ou colecta, a utilização e a eliminação final.

#### **2.2.3.2 Promoção da reciclagem de resíduos**

A estratégia prevê a concessão de incentivos ao sector da reciclagem, tendo em vista a reintrodução dos resíduos no ciclo económico, sob a forma de produtos de qualidade, minimizando simultaneamente o impacte ambiental negativo dessa reintrodução.

A prazo poderão ser fixados objectivos quantificados de reciclagem a níveis adequados, tendo em conta as características de cada material e as várias possibilidades de reciclagem de cada um deles.

A reciclagem poderá ser incentivada por meio de uma alteração do quadro regulamentar, que compreenderá, nomeadamente, a possibilidade de introduzir critérios de eficácia no caso das operações de valorização, bem como critérios que permitam estabelecer a distinção entre resíduos e produtos, uma vez que esses critérios permitirão definir normas mínimas de qualidade e difundir as melhores práticas entre os Estados-Membros.

A estratégia prevê outras medidas como o intercâmbio de informações sobre as taxas nacionais de deposição em aterro, bem como, a prazo, medidas baseadas na natureza dos materiais e, eventualmente, medidas destinadas a completar os mecanismos de mercado, caso estes se revelem insuficientes para assegurar o desenvolvimento da reciclagem.

A estratégia atribui especial importância aos resíduos biodegradáveis: a Directiva 1999/31/CE prevê o redireccionamento de dois terços desses resíduos para outros modos de tratamento, que não a deposição em aterro. A estratégia prevê, nomeadamente, a adopção de linhas directrizes pela Comissão, a adopção de estratégias de gestão pelos Estados-Membros e a integração desta temática no âmbito da revisão da Directiva IPPC e da utilização agrícola de lamas de depuração.

#### **2.2.4 Directiva 2006/12/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril de 2006, relativa aos resíduos**

As medidas presentes nesta Directiva aplicam-se a qualquer substância ou objecto de que o detentor se desfaça ou tenha a obrigação de se desfazer em virtude das disposições nacionais dos Estados-membros. Não se aplicam aos efluentes gasosos, aos resíduos radioactivos, resíduos minerais, cadáveres de animais e resíduos agrícolas, águas residuais e explosivos abatidos à carga, quando esses diferentes tipos de resíduos são abrangidos por regulamentação comunitária específica.

A Comissão publicou orientações baseadas, nomeadamente, na jurisprudência do Tribunal de Justiça das Comunidades Europeias (TJCE), para ajudar as autoridades competentes e o sector privado a determinar se um produto constitui ou não um resíduo.

Os Estados-membros proibirão o abandono, descarga e eliminação não controlada de resíduos. Além disso, devem promover a prevenção, reciclagem e transformação dos resíduos para efeitos da sua reutilização. Também informarão a Comissão sobre qualquer projecto de regulamentação que possa implicar a utilização de produtos susceptíveis de gerar dificuldades técnicas e custos de eliminação excessivos e promoverão a diminuição das quantidades de certos resíduos, o tratamento de resíduos para efeitos de reciclagem ou reutilização, a produção de energia a partir de certos resíduos e a utilização de recursos naturais que possam ser substituídos por materiais de recuperação.

Estas medidas prevêem a cooperação entre Estados-membros com vista à criação de uma rede integrada e adequada de instalações de eliminação (tendo em conta as melhores tecnologias disponíveis) que permita, no caso da Comunidade, tornar-se auto-suficiente em matéria de eliminação de resíduos e, no caso dos Estados-membros, progredir no sentido desse objectivo. Esta rede deverá permitir a eliminação dos resíduos numa das instalações mais próximas, garantindo um nível elevado de protecção do ambiente.

Os Estados-membros devem assegurar que os detentores de resíduos procedam à sua entrega a um colector público ou privado ou empresa de eliminação ou que assegurem, eles próprios, a sua eliminação, conforme previsto na regulamentação.

As empresas ou estabelecimentos que asseguram o tratamento, armazenamento ou depósito de resíduos por conta de outrem devem obter uma autorização da autoridade competente respeitante, nomeadamente, ao tipo e quantidade de resíduos a tratar, às prescrições técnicas gerais e às precauções a tomar. As autoridades competentes podem proceder à verificação periódica do cumprimento dessas condições de autorização. As

empresas de transporte, recolha, armazenamento, depósito ou tratamento de resíduos, próprios ou por conta de outrem, estão sujeitas ao mesmo tipo de fiscalização por parte da autoridade competente.

Os centros de valorização e as empresas que procedem elas próprias à eliminação dos seus resíduos também deverão ser titulares de uma autorização.

O custo da eliminação dos resíduos deverá ser suportado pelo detentor, aquando da entrega de resíduos a um colector ou a uma empresa, e/ou pelos seus detentores anteriores ou pelo fabricante do produto gerador de resíduos, de acordo com o princípio do "poluidor-pagador".

As autoridades competentes designadas pelos Estados-membros para a aplicação destas medidas devem estabelecer um ou mais planos de gestão de resíduos, que incidam, nomeadamente, sobre o tipo, quantidade e origem dos resíduos a valorizar ou eliminar, as prescrições técnicas gerais, as disposições especiais aplicáveis a determinados resíduos e os locais e instalações apropriadas para a sua eliminação.

A presente directiva procede à codificação da Directiva 75/442/CEE e das suas várias alterações, vindo substituir-se àquela legislação. Esta codificação destina-se a esclarecer e racionalizar a legislação no domínio dos resíduos, mas não altera o conteúdo das regras aplicáveis.

A presente directiva é revogada pela Directiva 2008/98/CE a partir de 12 de Dezembro de 2010.

### **2.2.5 Directiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro de 2008, relativa aos resíduos.**

Esta Directiva estabelece um marco jurídico para o tratamento de resíduos na União Europeia. Destina-se a proteger o meio ambiente e a saúde humana através da prevenção dos efeitos adversos que envolvam a produção e gestão de resíduos. Esta Directiva revoga as Directivas 75/439/CEE, 91/689/CEE e 2006/12/CE.

A Directiva 2008/98/CE surge para clarificar conceitos-chave como a definição de resíduo e introduzir uma abordagem que tenha em conta todo o ciclo de vida dos produtos e não apenas a fase de resíduo.

Exclui-se do âmbito de aplicação da directiva os seguintes resíduos:

- Efluentes gasosos;
- resíduos radioactivos;
- explosivos abatidos à carga;
- fezes;
- águas residuais;
- subprodutos animais;
- cadáveres de animais que morreram com excepção do abate;
- resíduos minerais.

Para proteger melhor o ambiente, os Estados-Membros tomarão medidas para o tratamento de resíduos, de acordo com a seguinte hierarquia de prioridades:

- Prevenção;
- Preparação para a reutilização;
- Reciclagem;
- Outro tipo de valorização por exemplo, a valorização energética;
- Eliminação.

Os Estados-Membros podem aplicar medidas legislativas para reforçar esta hierarquia no tratamento de resíduos. Em qualquer caso, deve assegurar que a gestão de resíduos não irá pôr em perigo a saúde humana nem prejudicar o ambiente.

A gestão de resíduos bem como as autorizações e registos mantêm-se nos mesmos termos da Directiva 2006/12/CE.

As autoridades competentes devem estabelecer um ou mais planos de gestão de resíduos, de modo que eles cubram todo o território do Estado-membro em causa. Estes planos devem incluir, nomeadamente o tipo, quantidade e origem dos resíduos, os sistemas existentes de colecta e os critérios de implantação. Os Estados-membros devem desenvolver estratégias de prevenção, que terão como objectivo quebrar o elo entre crescimento económico e impactes ambientais relacionados com a geração de resíduos. Os Estados-Membros notificarão esses planos para a Comissão Europeia.

### **2.2.6 Directiva 1999/31/CE do Conselho, de 26 de Abril de 1999 relativa à deposição de resíduos em aterro**

Esta directiva destina-se a prevenir ou reduzir os efeitos negativos resultantes da deposição de resíduos em aterro, especialmente ambientais nas águas de superfície, águas subterrâneas, solo, atmosfera e saúde humana.

Define pormenorizadamente as diferentes categorias de resíduos (resíduos urbanos, perigosos, não perigosos, inertes) e aplica-se a todos os aterros, definidos como locais de eliminação de resíduos por deposição sobre o solo ou no seu interior. Os aterros são classificados em três categorias:

- Aterros para resíduos perigosos;
- Aterros para resíduos não perigosos;
- Aterros para resíduos inertes.

Em contrapartida, a directiva não se aplica:

- Ao espalhamento de lamas no solo (incluindo as lamas provenientes de esgotos e as lamas resultantes de operações de dragagem);
- À utilização de resíduos inertes em aterros para fins de construção ou de reordenamento;
- À deposição de terra não poluída ou de materiais inertes não perigosos resultantes da prospecção ou extracção, tratamento ou armazenagem de recursos minerais ou da exploração de pedreiras;
- À deposição de lamas de dragagem não perigosas nas margens de pequenos cursos de água de onde tenham sido dragadas e de lamas não perigosas nas águas superficiais, incluindo o leito e o subsolo.

Para evitar qualquer perigo é definido um procedimento uniforme de admissão dos resíduos:

- Os resíduos devem sofrer um tratamento prévio antes de serem depositados em aterro;
- Os resíduos perigosos que satisfazem os critérios da directiva devem ser encaminhados para um aterro de resíduos perigosos;
- Os aterros para resíduos não perigosos devem ser utilizados para os resíduos urbanos e para os resíduos não perigosos;
- Os aterros para resíduos inertes serão utilizados exclusivamente para resíduos inertes.

Não devem ser aceites nos aterros os seguintes resíduos:

- Os resíduos líquidos;
- Os resíduos inflamáveis;
- Os resíduos explosivos ou inflamáveis;
- Os resíduos infecciosos provenientes de estabelecimentos hospitalares ou clínicas;
- Os pneus usados salvo excepções;
- Qualquer outro tipo de resíduos que não satisfaça os critérios de admissão definidos no Anexo II.

A directiva estipula um processo de autorização para exploração de um aterro.

### **2.2.7 Directiva 94/62/CE, de 20 de Dezembro de 1994, do Parlamento Europeu e do Conselho relativa às embalagens e aos resíduos de embalagens**

Esta directiva é aplicável a todas as embalagens colocadas no mercado na Comunidade e a todos os resíduos de embalagens quer sejam utilizadas ou rejeitadas como refugo pelas indústrias, estabelecimentos comerciais, escritórios, oficinas, serviços, agregados familiares ou outras entidades a qualquer outro nível e independentemente dos materiais que as constituem. A Directiva 2004/12/CE (que altera a Directiva 94/62/CE) estabelece critérios para clarificar esta definição do termo “embalagem”.

A directiva 94/62/CE prevê que os Estados-Membros ponham em prática medidas de prevenção contra a formação de resíduos de embalagens através, nomeadamente, de programas nacionais e incita os Estados-Membros a desenvolver sistemas de reutilização das embalagens.

A Directiva 94/62/CE define as exigências essenciais a satisfazer, pelas embalagens e resíduos de embalagens, no que respeita à composição e ao carácter reutilizável e valorizável dos mesmos.

A fim de dispor de dados comunitários sobre as embalagens e resíduos de embalagens, os Estados-Membros devem introduzir igualmente, de forma harmonizada, sistemas de informação (bases de dados) com vista a poder acompanhar a realização dos objectivos definidos na presente directiva. Os Estados-Membros devem organizar campanhas de informação dirigidas ao público em geral e aos operadores económicos.

No final de Junho de 2006, a Comissão apresentou um relatório sobre a aplicação da Directiva “Embalagens”, bem como sobre medidas para reforçar a prevenção e a reutilização das embalagens.

A Directiva 2005/20/CE concede um prazo suplementar aos novos dez Estados-Membros (República Checa, Estónia, Chipre, Letónia, Lituânia, Hungria, Malta, Polónia, Eslovénia, Eslováquia) para atingir os objectivos da Directiva “Embalagens” revista. Estas derrogações são concedidas até 31 de Dezembro de 2012.

#### **2.2.8 Relatório da Comissão ao Conselho e ao Parlamento Europeu sobre a aplicação da Directiva 94/62/CE relativa a embalagens e resíduos de embalagens e seu impacte no ambiente, bem como sobre o funcionamento do mercado interno [SEC(2006) 1579]**

O presente relatório apresenta uma avaliação ex-post dos aspectos ambientais, económicos, sociais e de mercado interno da directiva e uma avaliação da necessidade de medidas complementares para a prevenção e reciclagem de resíduos de embalagens e a livre circulação de embalagens no mercado interno. O relatório tem igualmente em conta a Comunicação sobre a Estratégia Temática de Prevenção e Reciclagem de Resíduos e a proposta de revisão da legislação-quadro em matéria de resíduos [COM(2005) 667 final], adoptada pela Comissão em 21 de Dezembro de 2005.

As embalagens são um produto e um fluxo de resíduos relativamente pequenos, mas não insignificantes. O peso não é o melhor indicador dos impactes ambientais dos resíduos de embalagens e dos impactes das embalagens em todo o seu ciclo de vida. Os impactes ambientais globais das embalagens representam uma ordem de grandeza de um a alguns pontos percentuais da economia global. Por exemplo, as emissões de gases com efeito de estufa relacionadas com o consumo de embalagens na UE-15 estão estimadas em cerca de 80 milhões de toneladas de equivalente CO<sub>2</sub> por ano (Biointeligência e O<sub>2</sub> para a Comissão Europeia, 2003). A estimativa das emissões de gases com efeito de estufa *per capita* apresentada no estudo é de 216 kg de CO<sub>2</sub> por ano. Este valor representa cerca de 2% do valor total das emissões de gases com efeito de estufa da UE-15. A quota-parte das embalagens relativamente a outros impactes ambientais, como a acidificação da atmosfera, as partículas finas e a eutrofização, são de uma magnitude comparável.



A avaliação ex-post do impacto da Directiva Embalagens no ambiente mostra um aumento de 9% da valorização e incineração de embalagens em instalações de incineração de resíduos com valorização energética e um aumento de 8% da reciclagem de embalagens entre 1997 e 2002. Simultaneamente, em 2002 foram atingidos todos os diferentes 75 objectivos aplicáveis à UE-15. A reciclagem e a valorização de resíduos de embalagens tiveram efeitos ambientais positivos, incluindo a poupança de recursos e a redução de emissões de gases com efeito de estufa. Tal, incluiu uma poupança nas emissões de gases com efeito de estufa de cerca de 25 milhões de toneladas de equivalente CO<sub>2</sub> (cerca de 1 milhão de toneladas em resultado directo da Directiva Embalagens) e uma poupança de recursos de cerca de 10 milhões de toneladas de equivalente de petróleo (cerca de 3 milhões de toneladas em resultado directo da Directiva Embalagens), em comparação com um cenário em que todos os resíduos de embalagens seriam enviados para deposição em aterro ou incineração sem valorização energética, o que corresponde a cerca de 0,6% das emissões totais de gases com efeito de estufa da UE-15 em 2002, ou entre um terço e metade das emissões totais de gases com efeito de estufa de países como a Dinamarca, a Irlanda ou a Suécia. Tendo em conta as dificuldades observadas quanto ao cumprimento do objectivo de 8% no âmbito do Protocolo de Quioto, esta contribuição é significativa. Outros benefícios ambientais importantes relacionam-se com a redução das emissões de partículas, da acidificação e dos efeitos de desconforto (ruído de tráfego, odores e perturbações visuais, que afectam a população que habita na proximidade de aterros e incineradores). Estes são benefícios visíveis e significativos dos esforços realizados pela indústria para aplicar os requisitos da Directiva Embalagens. Os dados demonstram que os custos adicionais relacionados com as obrigações de reciclagem da Directiva Embalagens, em comparação com outras opções de gestão dos resíduos (por exemplo, eliminação) não são significativamente mais elevados e apresentam uma tendência descendente. Os custos da reciclagem de embalagens são de uma ordem de grandeza idêntica à das alternativas mais eficientes em termos de custos para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> e de outros impactos ambientais.

A prevenção da produção de embalagens na fonte é uma questão muito mais complexa do que a reciclagem. A prevenção não só influencia todo o ciclo de vida das embalagens, desde a extracção de matérias-primas até à eliminação, mas também o ciclo de vida dos produtos embalados. Progressos substanciais no domínio da prevenção só poderão ser conseguidos mediante a aplicação de medidas adaptadas às condições específicas em que os produtos embalados são comercializados, como, por exemplo, os padrões de consumo e de distribuição. A integração na legislação-quadro em matéria de resíduos da obrigação de

os Estados-Membros desenvolverem programas de prevenção de resíduos, conforme proposto pela Comissão no contexto da Estratégia Temática sobre Prevenção e Reciclagem de Resíduos, constitui um instrumento adequado para promover a prevenção de resíduos em geral, bem como a prevenção de resíduos de embalagens em particular. Os objectivos de prevenção podem parecer tentadores pela sua aparente simplicidade. Todavia, a sua aplicação levanta uma série de problemas, em especial os objectivos relacionados com o peso colocariam em desvantagem materiais de embalagem mais pesados, mas não necessariamente menos respeitadores do ambiente. Objectivos aplicados equitativamente a todos os produtores colocariam em desvantagem os produtores que já utilizam a quantidade mínima possível de embalagens. Para esses produtores, maiores reduções podem resultar em derramamentos de produtos que poderão frequentemente causar danos ambientais significativamente superiores aos possíveis benefícios ambientais relacionados com a poupança de embalagens.

O Parlamento Europeu levantou a questão da utilização de um indicador ambiental para as embalagens ( Packaging Environmental Indicator - PEI), para utilização no âmbito da política em matéria de embalagens. Parece adequado centrar a potencial utilização do PEI na disponibilização de orientações às empresas utilizando abordagens de ciclo de vida.

Não há indicações de que os actuais níveis de metais pesados e de outras substâncias perigosas presentes nas embalagens coloquem quaisquer riscos particulares para a saúde e o ambiente. Por conseguinte, parece improvável que uma maior redução dos limites de metais pesados resultasse em benefícios significativos para a saúde e o ambiente.

As proibições de deposição em aterro e os objectivos de redução da deposição em aterro devem ser vistos em função da opção de gestão de resíduos que poderia ser utilizada subsequentemente para obter o maior benefício ambiental. Os objectivos de reciclagem não podem ser simplesmente substituídos por proibições de deposição em aterro e por objectivos de redução da deposição em aterros, se tal resultar num aumento da incineração, em detrimento da reciclagem e dos benefícios ambientais globais da directiva.

A Comissão tenciona incluir uma avaliação dos progressos realizados pelos Estados-Membros em matéria de prevenção, reciclagem e valorização de resíduos na revisão de 2010 da Estratégia Temática sobre Prevenção e Reciclagem de Resíduos. Esta avaliação basear-se-á, nomeadamente, numa actualização da avaliação dos impactes da Directiva Embalagens e terá em conta os progressos realizados pelos Estados-Membros no sentido de aumentar as taxas de reciclagem para os níveis fixados pelo Parlamento Europeu e o Conselho na revisão de 2004 da directiva.

Há indícios (especialmente no sector das bebidas) de que a directiva ainda não atingiu plenamente os seus objectivos em termos de mercado interno. Tal deve-se, em parte, a uma aplicação incorrecta das disposições da Directiva Embalagens, mas também ao número crescente de medidas unilaterais que resultam numa fragmentação do mercado. Por conseguinte, a Comissão procederá a uma avaliação mais aprofundada da necessidade de adopção de medidas a nível da UE destinadas a evitar condicionalismos no que diz respeito ao mercado interno no futuro. Os progressos realizados no sentido de um controlo adequado da aplicação dos requisitos essenciais e de definições e procedimentos de apresentação de relatórios harmonizados em todos os Estados-Membros contribuirão assim para a criação de condições equitativas de concorrência para todos os operadores económicos.

A avaliação apresentada no presente relatório baseia-se nos dados e informações recolhidos em 2001 - 2002. Os Estados-Membros terão ainda de fazer muitos progressos na aplicação dos objectivos existentes. Será apenas depois de a situação relativa à gestão dos resíduos de embalagens nos novos Estados-Membros se tornar mais clara e de os dados dos períodos subsequentes de apresentação de relatórios estarem ao dispor da Comissão que será possível avaliar os impactes ambientais, económicos e sociais de um eventual novo conjunto de objectivos.

Em consequência, parece prematuro propor novos objectivos de reciclagem e valorização numa fase em que o conjunto precedente de objectivos só recentemente foi transposto para a legislação nacional e o último prazo para a sua aplicação termina em 2015 (Directiva 2005/20/CE, JO L 70 de 16.3.2005, p. 17) Não há também indicações de que padrões de custo e benefício para níveis diferentes de reciclagem e valorização de embalagens se tenham alterado significativamente desde a fixação dos novos objectivos acordados em 2004. Considera-se, por conseguinte, que os níveis dos objectivos estabelecidos na Directiva 2004/12/CE deveriam permanecer válidos muito para além de 2008.

### **2.2.9 Decisão 2002/358/CE do Conselho, de 25 de Abril de 2002, relativa à aprovação, em nome da Comunidade Europeia, do Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as alterações climáticas e ao cumprimento conjunto dos respectivos compromissos.**

O protocolo de Quioto é o mais importante instrumento na luta contra as alterações climáticas. Integra o compromisso assumido pela maioria dos países industrializados de reduzirem as suas emissões de determinados gases com efeito de estufa responsáveis pelo aquecimento planetário. Globalmente, os Estados signatários do Anexo I da Convenção-Quadro comprometem-se a reduzir as suas emissões de gases com efeito de estufa em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990, durante o período 2008-2012. O Anexo B do Protocolo apresenta os compromissos quantificados assumidos pelos Estados signatários. Os Estados-Membros da União terão de reduzir, em conjunto, as suas emissões de gases com efeito de estufa em 8% entre 2008 e 2012.

Em 4 de Fevereiro de 1991, o Conselho autorizou a Comissão a participar em nome da Comunidade Europeia nas negociações relativas à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as alterações climáticas, adoptada em Nova Iorque em 9 de Maio de 1992. A Convenção-Quadro foi ratificada pela Comunidade Europeia através da Decisão 94/69/CE, de 15 de Dezembro de 1993, que entrou em vigor em 21 de Março de 1994.

Pode considerar-se que a Convenção-Quadro foi coroada de êxito, nomeadamente por permitir a consciencialização do público a nível mundial em relação aos problemas ligados às alterações climáticas.

A União Europeia respeitou o compromisso assumido no âmbito da Convenção de repor em 2000 os níveis das suas emissões registados em 1990. No entanto, muitos países industrializados, incluindo os EUA, não alcançaram o objectivo de estabilização da concentração de gases com efeito de estufa nesses níveis. Os Estados signatários da Convenção decidiram portanto, durante a quarta conferência das Partes, que teve lugar em Berlim em Março de 1995, negociar um protocolo a aplicar pelos países industrializados e que contém medidas de redução das emissões para o período posterior a 2000. Na sequência de longos trabalhos, o Protocolo de Quioto foi adoptado em 11 de Dezembro de 1997, em Quioto. A Comunidade Europeia assinou o Protocolo em 29 de Abril de 1998. Em Dezembro de 2001, o Conselho Europeu de Laeken confirmou a vontade da União de ver o Protocolo de Quioto entrar em vigor antes da cimeira mundial do desenvolvimento sustentável de Joanesburgo (26 de Agosto - 4 de Setembro de 2002). Para tal, a nova

decisão aprova o Protocolo em nome da Comunidade. Os Estados-Membros comprometeram-se a depositar os seus instrumentos de ratificação ao mesmo tempo que a Comunidade e, na medida do possível, antes de 1 de Junho de 2002. Em 31 de Maio de 2002, a União Europeia ratificou o Protocolo de Quioto, que entrou em vigor em 16 de Fevereiro de 2005, após a sua ratificação pela Rússia. Vários países industrializados recusaram-se a ratificar o Protocolo, entre os quais os EUA e a Austrália.

O Protocolo de Quioto incide nas emissões de seis gases com efeito de estufa:

- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).
- Metano (CH<sub>4</sub>).
- Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O);
- Hidrocarbonetos fluorados (HFC);
- Hidrocarbonetos perfluorados (PFC).
- Hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>).

Constitui um passo em frente importante na luta contra o aquecimento planetário, pois contém objectivos vinculativos e quantificados de limitação e redução dos gases com efeito de estufa.

Para a realização desses objectivos, o Protocolo propõe uma série de meios:

- Reforço ou criação de políticas nacionais de redução das emissões (aumento da eficiência energética, promoção de formas sustentáveis de agricultura e desenvolvimento das fontes renováveis de energia).
- Cooperação com as restantes Partes contratantes (intercâmbio de experiências ou de informação, coordenação das políticas nacionais com o objectivo de garantir a eficácia através de mecanismos de cooperação, ou seja, licenças de emissão, aplicação conjunta e mecanismo de desenvolvimento limpo).

#### **2.2.10 Directiva 2008/1/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 15 de Janeiro de 2008, relativa à prevenção e controlo integrados da poluição.**

Esta directiva, designada "Directiva IPPC", que substitui a Directiva 96/61/CE, faz depender as actividades industriais e agrícolas de forte potencial poluente da obtenção de uma licença. Esta licença apenas pode ser concedida mediante o respeito de determinadas condições ambientais, para que as empresas assumam a responsabilidade pela prevenção e redução da poluição que elas próprias possam provocar.

A prevenção e a redução integrada da poluição referem-se às actividades industriais e agrícolas de forte potencial poluente, novas ou existentes, tal como definidas no Anexo I da directiva (indústrias do sector da energia, produção e transformação de metais, indústria mineral, indústria química, gestão de resíduos, criação de animais, etc.).

Para obterem uma licença, as instalações industriais ou agrícolas devem satisfazer determinadas condições fundamentais, nomeadamente em termos de:

- Utilização de todas as medidas úteis que permitam lutar contra a poluição, designadamente o recurso às melhores técnicas disponíveis (as que produzem menos resíduos, utilizam substâncias menos perigosas, permitem a recuperação e reciclagem das substâncias emitidas, etc.);
- Prevenção de qualquer poluição importante;
- Prevenção, reciclagem ou eliminação o menos poluente possível dos resíduos;
- Utilização eficaz da energia;
- Prevenção dos acidentes e limitação das suas consequências;
- Reabilitação dos sítios após a cessação da actividade.

Além disso, o licenciamento implica um determinado número de exigências concretas, incluindo nomeadamente:

- valores-limite de emissão para as substâncias poluentes (excepto para os gases com efeito estufa se o sistema de comércio de licenças de emissão for aplicado);
- Eventuais medidas de protecção do solo, da água ou da atmosfera;
- Medidas de gestão dos resíduos;
- Medidas relativas a circunstâncias excepcionais (fugas, problemas de funcionamento, interrupções momentâneas ou definitivas, etc.);
- Minimização da poluição a longa distância ou transfronteiras;
- Monitorização dos resíduos;
- Qualquer outra exigência pertinente.

### **2.2.11 Directiva 2003/87/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 13 de Outubro de 2003, relativa à criação de um regime de comércio de licenças de emissão de gases com efeito de estufa na Comunidade e que altera a Directiva 96/61/CE do Conselho**

A presente directiva cria um regime comunitário de comércio de licenças de emissão de gases com efeito de estufa, a partir de 1 de Janeiro de 2005, tendo em vista a sua redução na Comunidade de modo economicamente eficiente. A Comunidade e os Estados-Membros tentam respeitar, através deste regime, os compromissos de redução das emissões de gases com efeito de estufa assumidos no âmbito do Protocolo de Quioto. As instalações que realizam actividades nos sectores da energia, da produção e transformação de metais ferrosos, da indústria mineral e do fabrico de papel e de cartão estão obrigatoriamente sujeitas a este regime de comércio de licenças. Essas instalações devem possuir uma licença emitida para o efeito pelas autoridades competentes.

Neste contexto, entende-se por "licença de emissão" o direito de emitir uma tonelada de dióxido de carbono ou de qualquer outro gás com efeito de estufa de efeito equivalente durante um determinado período.

Cada Estado-Membro elabora um plano nacional respeitando os critérios do anexo III desta directiva e indicando as licenças que tenciona conceder no período definido, bem como a forma de atribuí-las a cada instalação.

De acordo com a directiva, pelo menos 95% das licenças relativas ao primeiro período de três anos devem ser atribuídas gratuitamente às instalações. No que se refere ao período de cinco anos com início em 1 de Janeiro de 2008, os Estados-Membros devem distribuir 90% das licenças a título gratuito.

Os Estados-Membros asseguram a livre circulação das licenças na Comunidade Europeia. Velam igualmente no sentido de, o mais tardar em 30 de Abril de cada ano, os operadores das instalações restituírem um número de licenças correspondente ao total das suas emissões no decurso do ano anterior. As licenças restituídas são ulteriormente anuladas.

No final do ano, o operador deve declarar à autoridade competente as emissões de gases com efeito de estufa produzidas pela instalação durante o ano. Estas declarações respeitarão as “orientações para a monitorização e a comunicação de informações relativas a emissões” que a Comissão adoptou para o efeito com base nos critérios estabelecidos no anexo IV da directiva.

Será realizada uma verificação das declarações apresentadas pelos operadores, tendo em conta os princípios definidos no anexo V da directiva. Caso as verificações das declarações não satisfaçam os critérios do anexo, o operador deixará de poder transferir licenças até que a sua declaração seja considerada satisfatória.

O operador que, o mais tardar até 30 de Abril, não restituir um número de licenças equivalente às suas emissões durante o ano anterior deverá pagar uma multa pelas emissões excedentárias. A multa é de 100 euros por tonelada de equivalente dióxido de carbono (40 euros durante o período de três meses com início em 1 de Janeiro de 2005) e não dispensa o operador da obrigação de devolver um número de licenças de emissão equivalente às suas emissões excedentárias. Cada Estado-Membro determina o seu regime de sanções aplicável às infracções do disposto na presente directiva e notifica-o à Comissão, o mais tardar até 31 de Dezembro de 2003.

#### **2.2.12 Directiva 2004/101/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 7 de Outubro de 2004, que altera a Directiva 2003/87/CE relativa à criação de um regime de comércio de licenças de emissão de gases com efeito de estufa na Comunidade, no que diz respeito aos mecanismos baseados em projectos do Protocolo de Quioto**

A Directiva 2004/101/CE aprofunda a relação entre o regime de comércio de licenças de emissão da UE e o Protocolo de Quioto e torna os chamados "mecanismos baseados em projectos" do Protocolo de Quioto (Implementação Conjunta e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) compatíveis com este regime. Por conseguinte, os operadores têm a possibilidade de utilizar estes dois mecanismos no quadro do regime de comércio de licenças para cumprirem as suas obrigações. O resultado será uma redução dos custos de adaptação das instalações abrangidas pelo regime. De acordo com as estimativas para o período de 2008-2012, os custos anuais de conformidade de todas as instalações da UE alargada apresentarão uma redução superior a 20%.

A presente directiva reconhece, por conseguinte, a validade dos créditos obtidos a partir dos Projectos de Implementação Conjunta (PIC) e do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), paralelamente às licenças de emissão, à excepção dos que decorrem da utilização dos solos, da sua reafecção e da silvicultura. Os créditos obtidos a partir de PIC passam a denominar-se unidades de redução de emissões (URE) e os créditos obtidos a partir de projectos baseados em MDL, reduções certificadas de emissões (RCE). A directiva também



prevê mecanismos destinados a evitar a dupla contabilização de URE e de RCE, quando resultem de actividades igualmente na origem de uma redução ou limitação das emissões das instalações nos termos da Directiva 2003/87/CE.

A Comissão adoptou um regulamento relativo ao estabelecimento de um sistema de registos sob a forma de base de dados electrónica que permite acompanhar a concessão, a detenção, a transferência e o cancelamento de licenças. Estes registos garantem igualmente o acesso dos cidadãos à informação, a confidencialidade e o cumprimento das disposições do Protocolo de Quioto.

A Comissão designa um administrador central que gere um diário independente no qual são registadas a concessão, a transferência e a anulação de licenças de emissão ao nível comunitário. O administrador central introduz um controlo automático das transacções de licenças. Caso identifique irregularidades, as transacções em causa são interrompidas até serem corrigidas as referidas irregularidades.

Os Estados-Membros apresentam à Comissão um relatório anual sobre a aplicação da directiva e do seu texto rectificativo. A Comissão publica um relatório anual baseado nos relatórios dos Estados-Membros.

A fim de assegurar o reconhecimento mútuo das licenças e a promoção de PIC e de MDL, a Comunidade deverá concluir acordos com países terceiros (que ratificaram o Protocolo de Quioto e mencionados no seu anexo B) que utilizam outros regimes de comércio de licenças de emissão de gases com efeito de estufa.

Caso a Comissão manifeste o seu acordo, a partir de 2008, os Estados-Membros podem aplicar o regime de comércio de licenças a outras actividades, instalações e gases com efeito de estufa distintos dos indicados nos anexos da directiva após análise das suas consequências a nível do mercado interno, da concorrência e do regime de comércio de licenças. Os Estados-Membros podiam solicitar à Comissão que determinadas instalações fossem temporariamente excluídas do regime (o mais tardar até 31 de Dezembro de 2007). Os Estados-Membros podem autorizar os operadores das instalações constantes do anexo I a constituir um agrupamento (durante o período de três anos iniciado em 1 de Janeiro de 2005 e durante o período de cinco anos com início em 1 de Janeiro de 2008) das instalações que realizam a mesma actividade. Esses operadores nomeiam um administrador autorizado que gere as licenças das instalações e que é responsável pela devolução das licenças correspondentes ao total das emissões das instalações do agrupamento.

### **2.2.13 Livro Verde, de 7 de Fevereiro de 2001, sobre a política integrada relativa aos produtos, apresentado pela Comissão [COM(2001) 68]**

O Livro Verde abrange todos os produtos e serviços. A estratégia proposta necessita da participação de todas as partes interessadas, a todos os níveis de acção possíveis e ao longo de todo o ciclo de vida dos produtos. A concepção ecológica deve ser promovida junto dos industriais com vista a que os produtos colocados no mercado respeitem mais o ambiente. As empresas de distribuição devem colocar produtos verdes em secções à disposição dos consumidores e informá-los sobre a sua existência e vantagens. Os consumidores devem optar de forma preferencial por produtos verdes e utilizá-los de forma a prolongar o seu período de vida e a reduzir o seu impacto ambiental. As organizações não governamentais (ONG) poderiam participar na identificação de problemas e soluções susceptíveis de criar produtos mais ecológicos.

A estratégia da política integrada relativa aos produtos (IPP) baseia-se nas três etapas do processo de decisão que condicionam o impacto ambiental do ciclo de vida dos produtos, ou seja, na aplicação do princípio do poluidor-pagador aquando da fixação dos preços dos produtos, na escolha informada dos consumidores e na concepção ecológica dos produtos.

#### **2.2.13.1 A fixação dos preços dos produtos**

Se todos os preços reflectirem o custo ambiental real dos produtos, o mercado pode optimizar os desempenhos ambientais dos mesmos. Este não é, por norma, o caso mas a aplicação do princípio do poluidor-pagador permitiria resolver esta lacuna do mercado ao obrigar à integração dos custos ambientais no preço.

A ideia mais importante expressa no Livro Verde tendo em vista a implementação do princípio do poluidor-pagador consiste na aplicação de taxas de impostos diferenciadas em função dos desempenhos ambientais dos produtos como, por exemplo, na aplicação de taxas de IVA mais baixas para os produtos com rótulo ecológico (Regulamento (CE) nº 1980/2000) ou de outros impostos ou taxas ecológicas.

#### **2.2.13.2 A escolha informada dos consumidores**

O Livro Verde considera a educação dos consumidores (incluindo das crianças) e das empresas, uma das principais formas de aumentar a procura de produtos que respeitam o ambiente e de tornar o consumo mais ecológico.

Uma outra forma de apoiar a escolha dos consumidores consiste no fornecimento de informações técnicas compreensíveis, relevantes e credíveis, através da rotulagem dos produtos ou de outras fontes de informação de fácil acesso. Para minimizar o impacto ambiental, importa distinguir as condições adequadas de utilização dos produtos. A Internet e as outras novas tecnologias da informação abrem perspectivas para a troca de informações, incluindo em matéria de dados sobre avaliações e de estabelecimento de melhores práticas.

O rótulo ecológico europeu já constitui uma fonte de informação para os consumidores mas a sua aplicação deveria ser alargada a mais produtos. O financiamento público deste tipo de rotulagem ecológica deveria ser reforçado, tanto a nível europeu como nacional.

Existem outros instrumentos susceptíveis de promover o consumo respeitador do ambiente, designadamente as informações ecológicas, as auto declarações e a rotulagem ISO tipo III. O Livro Verde salienta ser desejável uma cooperação a nível comunitário com vista ao aumento da utilização da rotulagem ISO.

Atendendo a que os contratos públicos representam 12% do PIB da União Europeia, estes poderão incentivar os produtores a aumentar a oferta de produtos ecológicos através da aquisição de produtos que respeitam o ambiente. A Comissão considera a possibilidade de dar o exemplo tornando os seus contratos públicos ecológicos e aderindo ao sistema EMAS.

### **2.2.13.3 A concepção ecológica dos produtos**

Para desenvolver a concepção ecológica dos produtos é necessário produzir e publicar informações sobre o impacto ambiental dos produtos ao longo de todo o seu ciclo de vida. Os Inventários do Ciclo de Vida (LCI) e as Análises do Ciclo de Vida (LCA) constituem bons instrumentos.

O Livro Verde salienta que a definição de orientações em matéria de concepção ecológica, bem como de uma estratégia global de integração do ambiente no processo de concepção, poderiam ser utilizadas como instrumentos de promoção do conceito de ciclo de vida nas empresas.

É muito importante que o ambiente seja tomado em consideração no processo de normalização. A utilização da nova abordagem destinada à promoção da concepção ecológica constitui igualmente uma possível área de actuação.

O Livro Verde propõe a formação de grupos de estudo de produtos compostos pelas partes interessadas, as quais tentarão atingir objectivos ambientais e eliminar os obstáculos relativos a cada grupo específico de produtos.

#### **2.2.13.4 Outros instrumentos**

Os sistemas de gestão e de auditoria ambiental, tais como o sistema EMAS, constituem importantes meios de conhecer e gerir os impactes dos produtos no ambiente e podem contribuir para a divulgação da IPP.

Existem outros instrumentos comunitários, tais como os programas de investigação e desenvolvimento e o Programa LIFE, enunciados como instrumentos susceptíveis de contribuir para a IPP.

A normalização e a contabilização das informações ambientais, com vista à sua inclusão nos relatórios financeiros das empresas, são objecto de um estudo lançado pela Comissão Europeia.

**2.2.14 Regulamento (CE) n.º 1907/2006 relativo ao registo, avaliação, autorização e restrição dos produtos químicos (REACH), que cria a Agência Europeia dos Produtos Químicos, que altera a Directiva 1999/45/CE e revoga o Regulamento (CEE) n.º 793/93 do Conselho e o Regulamento (CE) n.º 1488/94 da Comissão, bem como a Directiva 76/769/CEE do Conselho e as Directivas 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE e 2000/21/CE da Comissão.**

O Regulamento REACH - *Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals*, entrou em vigor em 1 de Junho de 2007.

Este Regulamento surgiu com o objectivo de melhorar o quadro legislativo comunitário em matéria de substâncias químicas, substituindo cerca de 40 normativos, entre os quais o Regulamento (CE) n.º 793/93, a Directiva n.º 1999/45/CE e a Directiva n.º 76/769/CEE e alterando a Directiva n.º 67/548/CEE.

Adicionalmente, cria a Agência Europeia de Produtos Químicos (ECHA - *European Chemicals Agency*), entidade central responsável pela gestão dos aspectos técnicos, científicos e administrativos do regulamento, a nível comunitário, sediada em Helsínquia, na Finlândia.

O referido regulamento não se aplica:

- A substâncias radioactivas;
- A substâncias sob controlo aduaneiro;
- Ao transporte ferroviário, rodoviário, por via navegável interior, marítimo ou aéreo de substâncias perigosas e de substâncias perigosas contidas em preparações perigosas;
- A substâncias intermediárias não-isoladas;
- Aos resíduos;
- A substâncias, quando necessário por interesse da defesa nacional.

**2.2.15 Directiva 2006/121/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 18 de Dezembro de 2006 que altera a Directiva 67/548/CEE do Conselho, relativa à aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas respeitantes à classificação, embalagem e rotulagem das substâncias perigosas, a fim de a adaptar ao Regulamento (CE) n.º 1907/2006 relativo ao registo, avaliação, autorização e restrição de substâncias químicas (REACH) e que cria a Agência Europeia das Substâncias Químicas.**

Tendo em vista a aprovação do Regulamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH), a Directiva 67/548/CEE deverá ser adaptada e as suas disposições em matéria de notificação e de avaliação dos riscos das substâncias químicas deverão ser revogadas.

#### **2.2.16 Lista Europeia de Resíduos (LER)**

A LER substitui o Catálogo Europeu de Resíduos (CER), tendo sido aprovada pela Decisão da Comissão 2000/532/CE, de 3 de Maio (alterada pelas Decisões da Comissão 2001/118/CE, de 16 de Janeiro e 2001/119/CE, de 22 de Janeiro e 2001/573/CE, do Conselho, de 23 de Julho). Conforme estabelecido na introdução do Anexo da Decisão da Comissão de 16 de Janeiro de 2001 que altera a Decisão 2000/532/CE no que respeita à lista de resíduos, a LER pode ser definida da seguinte forma:

É uma lista harmonizada de resíduos, a ser examinada periodicamente à luz dos novos conhecimentos e, em especial, dos resultados da investigação e, se necessário, revista (em conformidade com o artigo 18º da Directiva 75/442/CEE).

Deverá ser salvaguardado que o facto de um determinado material estar incluído na lista não significa que o mesmo constitua um resíduo em todas as situações. Com efeito, um material só é considerado resíduo quando corresponde à definição de resíduo na alínea a) do artigo 1.º da Directiva 2006/12/CE.

Nesta lista identificam-se os resíduos considerados perigosos com a simbologia «\*», de acordo com critérios estabelecidos na Directiva 91/689/CEE relativa a resíduos perigosos.

Os diferentes tipos de resíduos incluídos na lista são totalmente definidos pelo Código LER, código de seis dígitos para os resíduos e, respectivamente, de dois e quatro dígitos para os números dos capítulos e subcapítulos.

#### **2.2.16.1 Identificação do Código LER**

Para a identificação do Código LER de um determinado resíduo na lista, é necessário proceder às seguintes etapas:

- Procurar, nos capítulos 01 a 12 ou 17 a 20, a fonte geradora do resíduo e identificar o código de seis dígitos apropriado do resíduo (excluindo os códigos terminados em 99 desses capítulos);
- Algumas unidades de produção podem ter de classificar as suas actividades em vários capítulos. Por exemplo, uma fábrica de automóveis pode produzir resíduos pertencentes aos capítulos 12 (resíduos de moldagem e do tratamento de superfície de metais), 11 (resíduos inorgânicos com metais, provenientes do tratamento de metais e do seu revestimento) e 08 (resíduos da utilização de revestimentos), dependendo das diferentes fases do processo de fabrico;
- Os resíduos de embalagens de recolha selectiva (incluindo misturas de vários materiais de embalagem) serão classificados no subcapítulo 15 01 e não em 20 01;
- Se não for possível encontrar nenhum código apropriado nos capítulos 01 a 12 ou 17 a 20, devem ser consultados os capítulos 13, 14 e 15 para identificação dos resíduos;
- Se nenhum destes códigos de resíduos se aplicar, a identificação do resíduo faz-se em conformidade com o capítulo 16;
- Se o resíduo não se enquadrar no capítulo 16, utilizar-se-á o código 99 (resíduos não especificados noutra categoria) na parte da lista correspondente à actividade identificada na primeira etapa.

### **2.2.17 Indicadores de Desenvolvimento Sustentável na União Europeia (Eurostat, 2009)**

A estratégia da UE para o desenvolvimento sustentável (SDS), lançada pelo Conselho Europeu de Gotemburgo em 2001 e renovada em Junho de 2006, define uma abordagem coerente à forma como a UE faz jus ao seu compromisso, de longa data, para enfrentar os desafios do desenvolvimento sustentável.

A SDS reafirma o objectivo geral de alcançar a melhoria contínua da qualidade de vida e o bem-estar do planeta para as gerações presentes e futuras, através da criação de comunidades sustentáveis capazes de gerir e utilizar os recursos eficazmente e extrair o potencial de inovação ecológica e social da economia, garantindo prosperidade, protecção ambiental e coesão social.

Medir o progresso rumo ao desenvolvimento sustentável é parte integrante da SDS da UE, e é tarefa do Eurostat emitir um relatório de acompanhamento a cada dois anos com base no conjunto de indicadores de desenvolvimento sustentável da UE (UE SDIs).

Regras quantitativas aplicadas consistentemente em indicadores, e visualizadas por meio de símbolos do tempo, fornecem uma avaliação relativa, de modo a saber se a Europa está a avançar na direcção certa e com suficiente rapidez, tendo em conta os objectivos e metas definidas na estratégia. Os dados apresentados abrangem o período de 1990 a 2008 (ou o último ano disponível). As estatísticas abrangidas ilustram a gama de questões relevantes para o desenvolvimento sustentável, e deverão contribuir para a sensibilização para as oportunidades e desafios que temos pela frente. (Eurostat, 2009).

#### **2.2.17.1 Energia**

A dependência energética mostra até que ponto uma economia depende de importações para atender as suas necessidades de energia.

A dependência da UE-27 de energia importada manteve-se constante durante a década de 1990 em cerca de 45%. Desde 2000, o nível de dependência de energia tem aumentado de forma vertiginosa, superior a 50% em 2004, e atingindo cerca de 55% em 2008. Isto representa um grau de dependência de 10 pontos percentuais superior à média da década anterior.

Para além da crescente procura de energia, a grande quota de gás natural que é importado de fora da União Europeia e a diminuição das reservas de petróleo no Mar do Norte têm contribuído para este aumento.

Com o aumento da procura energética e da dependência em importações de petróleo e gás e os fornecimentos cada vez mais escassos, o risco de falha de abastecimento está a aumentar. Garantir o fornecimento de energia está, portanto, no topo da agenda da UE. A segurança do abastecimento energético é um dos objectivos da Estratégia de Desenvolvimento Sustentável e é o foco da segunda revisão estratégica da energia.

A dependência de energia é calculada pelas importações líquidas divididas pela soma do consumo energético interno bruto e bancas marítimas.

O consumo energético interno bruto apresentou um crescimento médio anual de 0,7% entre 2000 e 2007, ligeiramente superior à taxa de 0,4% da década anterior. No entanto, desde 2003, o consumo de energia estabilizou.

Globalmente, tem havido um afastamento dos combustíveis sólidos, o qual representou cerca de 27% do consumo total em 1990 e apenas cerca de 18% em 2007. Esta mudança tem sido predominantemente a favor do gás natural, passando de 18% para 24% em relação ao mesmo período, e, em menor medida, da energia nuclear (aumento de 12% para 13%) e energias renováveis (aumento de 4% a 8%). A participação do petróleo bruto e produtos petrolíferos diminuiu ligeiramente de 38% em 1990 para 36% em 2007.

O consumo de energias renováveis e biocombustíveis, bem como a quota de energias renováveis na geração de electricidade aumentaram, mas a um ritmo que parece insuficiente para alcançar os objectivos respectivos. Apesar dos aumentos no consumo de energias renováveis na UE-27 desde 2000, a sua participação no consumo interno de energia não cresceu o suficiente para estar no caminho certo. As energias renováveis continuam a desempenhar um papel menor na produção de electricidade da UE-27, e a sua quota cresceu modestamente de 13,8% em 2000 para 15,6% em 2007. A diferença para a meta de 21% fixado para 2010 continua a ser substancial. A biomassa é de longe a mais importante fonte de energia renovável, fornecendo quase 70% do total de energia renovável em 2007, tendo a maior taxa de crescimento. A energia hidroeléctrica, a segunda fonte de energia renovável mais importante, tem diminuído a sua participação nos últimos anos. As energias eólica e geotérmica são ainda contribuintes menores, embora em termos absolutos estejam a aumentar rapidamente. O indicador é definido como a percentagem de electricidade produzida a partir de energias renováveis no consumo nacional bruto de electricidade.



O desenvolvimento de co-geração ou produção combinada de calor e electricidade (CHP), uma tecnologia que combina a produção de calor útil com geração de electricidade, tem sido relativamente lento. A produção bruta de electricidade na EU-27 aumentou apenas ligeiramente, de 0,4 pontos percentuais entre 2004 e 2007. A CHP forneceu 10,9% da produção bruta de electricidade em 2007. Este indicador é definido como a percentagem de electricidade de produção combinada de calor e electricidade, na produção bruta de electricidade.

Objectivos relacionados com energia limpa na Estratégia de Desenvolvimento Sustentável:

- Até 2010, 12% do consumo de energia, em média, e 21% do consumo de electricidade, deverão ser satisfeitas através de fontes renováveis. Até 2015, a quota deste tipo de energia deverá aumentar para 15%.
- Atingir uma poupança global de 9% do consumo final de energia ao longo de 9 anos, até 2017, como indicado na Directiva 2006/32/CE - Eficiência na utilização final da energia e nos serviços.

#### **2.2.17.2 Resíduos**

Entre 1995 e 2000 registou-se um aumento dos resíduos sólidos urbanos *per capita* na UE-27, com um nível de crescimento de 2% ao ano, em média. Este aumento continuou até 2002, em que foram recolhidos 528 kg *per capita* de resíduos urbanos. Devido a uma queda na produção de resíduos nos anos seguintes, os níveis entre 2000 e 2007, em geral, mostraram uma redução insignificante de 524 kg *per capita* em 2000 para 522 kg *per capita* em 2007, representando uma diminuição média anual de 0,1%.

O tratamento de resíduos urbanos apresenta a quantidade de resíduos urbanos recuperados através de reciclagem e compostagem, bem como o montante depositados em aterro e, através de incineração. A maior parte deste fluxo de resíduos são domésticos, embora estejam incluídos resíduos semelhantes provenientes de outras fontes tais como o comércio, escritórios e instituições públicas.

Reciclar significa qualquer operação através da qual os resíduos são reprocessados. Compostagem representa o tratamento de matéria orgânica. Os dados referem-se apenas aos resíduos tratados nos Estados-Membros e não leva em conta os resíduos exportados.

A evolução no tratamento de resíduos urbanos foi favorável, com uma diminuição significativa na quantidade de resíduos eliminados através de aterros e aumento significativo da reciclagem e compostagem. Entre 2000 e 2007, ocorreram mudanças significativas no

tratamento dos resíduos urbanos. Enquanto em 2000 a quantidade de resíduos enviados para deposição final em aterros representaram mais de 55% da produção total de resíduos municipais, esta percentagem desceu para cerca de 40 % até 2007, ou seja, uma diminuição média anual de 4,2%. Esta diminuição apoia os objectivos da directiva da UE relativa à deposição de resíduos. No mesmo período, a quantidade de resíduos eliminados através de incineração aumentou em média 3,9% ao ano, elevando a sua quota de cerca de 15% em 2000 para quase 20% em 2007. Além disso, a percentagem de resíduos reciclados e compostados, que representou cerca de um quarto em 2000, aumentou para mais de 37% em 2007, representando uma taxa média de crescimento anual de 5,7% entre 2000 e 2007. A quantidade de resíduos reciclados, por si só, aumentou 5,2% ao ano, e a compostagem aumentou ainda mais, em 6,3% ao ano, em média. A reciclagem de resíduos sólidos e a compostagem são componentes importantes da gestão sustentável dos resíduos. Além de reduzir a quantidade de resíduos que precisam de ser eliminados, aumentando a proporção de resíduos recicláveis e compostagem, também reduz a procura de matérias-primas, levando a uma redução na extracção de recursos.

A política da UE dá preferência à prevenção de resíduos. A recuperação (reutilização, reciclagem, compostagem e incineração com recuperação de energia), a incineração sem recuperação de energia e aterro sanitário, considerados como os métodos ambientalmente menos correctos, vêm em segundo, terceiro e quarto lugares respectivamente. A Estratégia de Desenvolvimento Sustentável explicitamente visa aumentar a eficiência do uso de recursos por “aplicação do conceito de ciclo de vida e promoção da reutilização e reciclagem”.

## **2.3. LEGISLAÇÃO INTERNACIONAL**

### **2.3.1 Enquadramento**

A UNEP (*United Nations Environment Programme*), Programa das Nações Unidas para o Ambiente, é a voz do ambiente no sistema das Nações Unidas. A sua Missão é liderar e encorajar parcerias no cuidado com o meio ambiente, inspirando, informando e permitindo que as nações e povos melhorem a sua qualidade de vida sem comprometer as gerações futuras.

Este programa contempla uma divisão denominada DTIE – *Division of Technology, Industry and Economics*, cujo papel é incentivar os responsáveis pela tomada de decisões no governo, autoridades locais e na indústria para desenvolverem e implementarem políticas, estratégias e práticas limpas e seguras, fazerem uso eficiente dos recursos naturais, assegurarem uma gestão ambientalmente saudável dos produtos químicos, reduzirem a poluição e os riscos para os seres humanos e o meio ambiente, permitirem a aplicação das convenções e acordos internacionais, e incorporarem os custos ambientais.

A estratégia da DTIE é influenciar decisões por meio de parcerias com outras organizações internacionais, autoridades governamentais, empresas e indústrias, e organizações não-governamentais, apoiar a implementação das convenções e capacitação nos países em desenvolvimento.

No quadro das Nações Unidas para o Ambiente (UNEP) e do Conselho Económico para a Europa (UNECE), existe um conjunto vasto de Acordos Multilaterais de Ambiente (AMA) que têm por objectivo a protecção global do ambiente através do controlo e redução da produção, do consumo e do transporte de poluentes perigosos para o ambiente e a saúde humana.

Devido ao crescimento contínuo das nossas economias, a utilização de materiais e recursos também tem aumentado. Numa economia cada vez mais globalizada, o desafio para os decisores políticos é o de agilizar as acções para garantir uma gestão mais sustentável dos recursos renováveis e não renováveis. Existem medidas, tais como políticas sobre as alterações climáticas e da biodiversidade que abordam certos aspectos dos recursos globais. No entanto, é necessária uma abordagem holística à gestão dos recursos para melhor identificar as suas interligações e as lacunas de forma sistémica. A criação do Painel Internacional para a Gestão Sustentável dos Recursos, ou Painel de Recursos, é um primeiro passo para atender a essa necessidade. O painel foi lançado oficialmente em Novembro de 2007 e espera-se dar o impulso científico para dissociar o crescimento económico e a utilização dos recursos da degradação ambiental. O objectivo global do **Painel de Recursos** é, portanto, providenciar uma avaliação científica independente, dos impactes ambientais devidos ao uso de recursos ao longo do ciclo de vida completo, e aconselhar os governos e organizações sobre as formas de reduzir esses impactes.

Os objectivos do **Painel de Recursos** são:

- fornecer independentes, coerentes e autorizadas avaliações científicas de relevância política sobre o uso sustentável dos recursos naturais e, em particular os seus impactes ambientais ao longo do ciclo de vida completo;

- contribuir para uma melhor compreensão de como dissociar o crescimento económico da degradação ambiental.

Este trabalho baseia-se e vai contribuir para outras iniciativas internacionais relacionadas, incluindo o desenvolvimento do Quadro de 10 anos sobre consumo e produção sustentáveis (processo de Marrakech), a Iniciativa 3R (reduzir, reutilizar e reciclar), a abordagem da economia circular, a Visão Global do Ambiente (*Global Environment Outlook*) e a Avaliação do Milénio dos Ecossistemas (*Millennium Ecosystem Assessment*).

### **2.3.2 Reunião dos Ministros do Ambiente do G8, Kobe, Japão 2008 (*Kobe Environment Ministers Meeting 2008*)**

A Reunião dos Ministros do Ambiente do G8 foi realizada entre 24 a 26 de Maio de 2008, em Kobe, no Japão. Estiveram presentes os países do G8, a Comissão Europeia e outros países participantes, como o Brasil, a China, a Índia, o México, a África do Sul e a Coreia, e as organizações e redes internacionais como a OCDE, a UNEP e o Secretariado da Convenção de Basileia.

Esta reunião adoptou os 3Rs como um dos principais objectivos da reunião, bem como as alterações climáticas. A iniciativa 3R visa promover o princípio dos “3Rs”(reduzir, reutilizar e reciclar) globalmente, de modo a construir uma sociedade uníssonas em relação ao ciclo dos materiais, através da utilização eficaz dos recursos e dos materiais. Como resultado, foi confirmado que as abordagens para os 3R espalharam-se entre os países do G8 e outros países desde a primeira proposta para a Iniciativa 3R, em 2004, na Cimeira do G8 realizada em *Sea Island*. Foi também reconhecido que a Iniciativa 3R tem vindo a desempenhar um papel importante fornecendo uma plataforma para partilhar informações sobre as políticas relacionadas com os 3R, trocar opiniões e experiências entre os países.

Além disso, foi também acordado o Plano de Acções Kobe 3R (*Kobe 3R Action Plan*), o qual inclui as acções e os objectivos para incentivar o desenvolvimento dos 3R entre os estados do G8.

Ao mesmo tempo, o Japão anunciou um novo plano de acção denominado Plano de Acção Internacional para o Desperdício Zero (*New Zero Waste International Action Plan*) para declarar a contribuição japonesa para a criação de sociedades sustentáveis nos países e regiões da Ásia. É de salientar um programa conjunto para reduzir os sacos de plástico, o qual será posto em prática em três países asiáticos, incluindo o Japão, a China e a Coreia

do Sul. A política de redução dos sacos plásticos começou na China, em Junho de 2008. Através da acção concertada dos três países, estão a ser propostas políticas relevantes aos outros países asiáticos e comunidade internacional. Este esforço foi relatado na Reunião dos Ministros do Ambiente do G8 pelo Sr. Kamoshita, o Ministro do Ambiente do Japão, e os países do G8 decidiram também fazer um apelo para outros países reduzirem os produtos descartáveis.

### **2.3.3 15ª Conferência das Partes (COP15) da Convenção-Quadro para as Alterações Climáticas (*United Nations Framework Convention on Climate Change* – UNFCCC) – Conferência de Copenhaga**

Esta conferência é o culminar de um processo negocial no âmbito da Convenção-Quadro das Alterações Climáticas da ONU. Teve lugar em Copenhaga, Dinamarca, de 7 a 18 de Dezembro de 2009. Participaram mais de 15 mil delegados, incluindo Chefes de Governo, de 191 países. Está em causa um novo acordo climático que substitua o Protocolo de Quioto que expira em 2012, o qual deverá vigorar entre esse ano e 2020. Há dois anos, em Dezembro de 2007, na Conferência do Clima de *Bali*, as Partes comprometeram-se a trabalhar num novo compromisso.

De acordo com um relatório de 2007 do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC), o aumento de temperatura verificado desde a Revolução Industrial deve-se ao aumento dos níveis de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) antropogénico. Para evitar um aumento de temperatura superior a 2°C neste século, seria preciso que as nações industrializadas reduzissem as suas emissões de gases de efeito estufa em 25% a 40% até 2020, e em 80% a 95% até 2050 (quadro 2.1). As nações não industrializadas deveriam adoptar acções consistentes para travar as suas emissões.

As Partes reunidas tentaram chegar a um compromisso sobre reduções das emissões de gases de efeito de estufa. Durante as duas semanas de Conferência, as Partes tentaram encontrar formas de mitigar as alterações climáticas e formas de financiar os países em desenvolvimento a adaptarem-se às alterações climáticas. De acordo com diversas estimativas, essa adaptação irá custar 100 mil milhões de dólares por ano. Ficou registado que as nações ricas se comprometem a direccionar US\$30 mil milhões nos próximos três anos para ajudar nações pobres a lidar com as alterações climáticas. Os EUA participam com US\$3,6 mil milhões, o Japão com US\$11 mil milhões, a União Europeia com US\$10,6

mil milhões. Entre 2013 e 2020 o montante será aumentado para US\$100 mil milhões por ano.

**Box 13.7 The range of the difference between emissions in 1990 and emission allowances in 2020/2050 for various GHG concentration levels for Annex I and non-Annex I countries as a group<sup>a</sup>**

Scenario category	Region	2020	2050
A-450 ppm CO <sub>2</sub> -eq <sup>b</sup>	Annex I	-25% to -40%	-80% to -95%
	Non-Annex I	Substantial deviation from baseline in Latin America, Middle East, East Asia and Centrally-Planned Asia	Substantial deviation from baseline in all regions
B-550 ppm CO <sub>2</sub> -eq	Annex I	-10% to -30%	-40% to -90%
	Non-Annex I	Deviation from baseline in Latin America and Middle East, East Asia	Deviation from baseline in most regions, especially in Latin America and Middle East
C-650 ppm CO <sub>2</sub> -eq	Annex I	0% to -25%	-30% to -80%
	Non-Annex I	Baseline	Deviation from baseline in Latin America and Middle East, East Asia

Notes:  
<sup>a</sup> The aggregate range is based on multiple approaches to apportion emissions between regions (contraction and convergence, multistage,

**Quadro 2.1 - Reprodução de página do 4º relatório do IPCC, 2007, página 776, tabela 13.7.**

O resultado desta Conferência foi uma declaração de intenções, sem efeito vinculativo, embora este encontro diplomático tivesse o objectivo de envolver o mundo em acções concretas para evitar o aquecimento global. Os países admitem que de facto é bom evitar um aumento de temperatura em 2°C neste século. O detalhe da redução das emissões a médio prazo (2020) será apresentado por cada uma das nações à ONU informando sobre os métodos de combate ao aquecimento global. Objectivos de longo prazo (2050) não foram sequer mencionados (COP15, 2010).

## 2.4. LEGISLAÇÃO NACIONAL

### 2.4.1 Plano Estratégico dos Resíduos Industriais (PESGRI)

O Plano Estratégico dos Resíduos Industriais (PESGRI) define os princípios estratégicos a que deve obedecer a gestão deste tipo de resíduos no território nacional. Este Plano foi objecto de duas revisões, respectivamente, em 2000 e 2001.

A linha de actuação estabelecida é centrada:

- na prevenção da produção de resíduos;
- na promoção e desenvolvimento das opções de reutilização e reciclagem, garantindo um nível elevado de protecção da saúde e do ambiente;
- na promoção da eliminação do passivo ambiental;
- no desenvolvimento da auto-suficiência do País em matéria de gestão de resíduos tendo em vista a criação de um sistema integrado de tratamento de resíduos industriais, que contemple a inventariação permanente, o acompanhamento e controlo do movimento dos resíduos, a redução dos resíduos que necessitam de tratamento e destino final e a constituição de uma bolsa de resíduos e construção de centros integrados de recuperação, valorização e eliminação de resíduos (CIRVER).

No contexto do PESGRI foi elaborado o Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais (PNAPRI), a implementar no período de 2000 a 2015, dando prioridade à redução da perigosidade e quantidade dos resíduos industriais. Neste âmbito, foi ainda aprovado o Projecto "PRERESI – Prevenção de Resíduos Industriais", com o apoio do Programa PRIME, envolvendo um conjunto de associações empresariais que representam os sectores de actividade com maior potencial na prevenção de resíduos, bem como entidades ao nível científico e tecnológico especialmente vocacionadas para os sectores em causa.

#### **2.4.2 Decreto-Lei nº 178/2006 de 5 de Setembro - Lei-Quadro dos Resíduos**

O Decreto-Lei n.º 178/2006 de 5 de Setembro, Lei-Quadro dos Resíduos, que criou a Autoridade Nacional de Resíduos, transpõe para o direito nacional a Directiva n.º 2006/12/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, e substitui o Decreto-Lei n.º 239/97, de 9 de Setembro.

O DL nº 178/2006 prevê, no seu enquadramento legislativo, a existência de um “mercado de resíduos”, em que a sua gestão adequada contribui para a preservação dos recursos naturais, quer ao nível da prevenção, quer através da reciclagem e valorização, além de outros instrumentos jurídicos específicos, constituindo simultaneamente o reflexo da importância deste sector, encarado nas suas vertentes ambiental e como sector de actividade económica, e dos desafios que se colocam aos responsáveis pela execução das políticas e a todos os intervenientes na cadeia de gestão, desde a Administração Pública, passando pelos operadores económicos até aos cidadãos em geral, enquanto produtores de resíduos e agentes indispensáveis da prossecução destas políticas.

No DL n.º 178/2006 entendem-se como resíduos quaisquer substâncias ou objectos de que o detentor se desfaz ou tem intenção ou obrigação de se desfazer.

Até 31 de Dezembro de 2011 pretende-se atingir 22,5%, em peso, de reciclagem de embalagens de plástico, contando exclusivamente o material que for reciclado sob a forma de plásticos.

### **2.4.3 Decreto-Lei nº 366-A/97 de 20 de Dezembro - Gestão de embalagens e resíduos de embalagens**

A Directiva nº 94/62/CE, do Parlamento e do Conselho, de 20 de Dezembro de 1994, que estabelece os princípios e as normas aplicáveis a gestão de embalagens e resíduos de embalagens foi transposta para o direito nacional através do Decreto-Lei nº 366-A/97, de 20 de Dezembro. Este documento foi alterado pelo Decreto-Lei nº 92/2006, de 25 de Maio, que transpõe para a ordem jurídica nacional a Directiva nº 2004/12/CE, de 11 de Fevereiro, a qual altera a Directiva nº 94/62/CE.

O Decreto-Lei nº 366-A/97 substitui o Decreto-Lei n.º 322/95, de 28 de Novembro, no qual já se referia que a consciência dos problemas ambientais traduz-se na exigência de enfrentar o problema da gestão de resíduos gerados pelas sociedades industrializadas.

Os objectivos fundamentais de uma política integrada de gestão de resíduos traduzem-se, prioritariamente, na prevenção da sua produção, na redução do seu peso e volume, na maximização das quantidades recuperadas para valorização, bem como na adopção de adequados métodos e processos de eliminação, tendo em vista a minimização de resíduos depositados em aterro. Estes objectivos são válidos para a generalidade dos resíduos e especialmente para os resíduos de embalagens, dado que a redução desses resíduos é uma condição necessária para o crescimento sustentável.

Importa por isso diminuir a produção de resíduos de embalagens e estimular procedimentos vocacionados prioritariamente, e sempre que tecnicamente possível, para a reutilização de embalagens, reciclagem ou outras formas de valorização dos resíduos de embalagens, bem como desencorajar a sua eliminação por via do simples depósito em aterro. Em matéria de processos fundamentais de gestão, deve ter-se em conta, preferencialmente, a reutilização de embalagens e a reciclagem de resíduos de embalagens, com vantagens em termos de impacte ambiental, através da criação de sistemas que garantam o retorno de embalagens usadas e ou de resíduos de embalagens, os quais devem ser claros e



transparentes. Neste contexto, merece ainda referência a análise dos ciclos de vida das embalagens, com o fim de estabelecer uma hierarquia bem definida entre embalagens reutilizáveis, recicláveis e valorizáveis.

Para que os objectivos da reciclagem sejam prosseguidos torna-se necessário criar circuitos de recolha selectiva e triagem. É indispensável que as embalagens sejam concebidas de forma a facilitar a reciclagem e outras formas de eliminação ambientalmente adequadas. Por outro lado, é também indispensável favorecer a utilização de materiais provenientes da reciclagem de embalagens, garantindo sempre os níveis adequados de higiene e segurança, e definir os requisitos essenciais relacionados com a composição e natureza das embalagens reutilizáveis e recicláveis, limitando, paralelamente, a presença de metais pesados e outras substâncias nocivas nas embalagens como medida prioritária no sentido da sua redução nos resíduos de embalagens.

A prossecução destes objectivos passa, inevitavelmente, pela co-responsabilidade dos operadores económicos, devidamente articulada com as atribuições e competências dos municípios. Com efeito, aos municípios foi confiada a responsabilidade pelo serviço público de recolha da generalidade dos resíduos sólidos urbanos, na esteira das atribuições definidas no Decreto-Lei n.º 100/84, de 29 de Março, e na Lei n.º 1/87, de 6 de Janeiro.

Sublinha-se também neste diploma o carácter voluntário do sistema de marcação e de identificação dos materiais de embalagens, também aqui de harmonia com o normativo europeu.

O termo embalagens, de acordo com o Decreto-Lei n.º 366-A/97, refere-se a todos e quaisquer produtos feitos de materiais de qualquer natureza utilizados para conter, proteger, movimentar, manusear, entregar e apresentar mercadorias, tanto matérias-primas como produtos transformados, desde o produtor ao consumidor, incluindo todos os artigos “descartáveis” utilizados para os mesmos fins.

Segundo o mesmo diploma, entendem-se como resíduos de embalagem qualquer embalagem ou material de embalagem abrangido pela definição de resíduo adoptada na legislação em vigor aplicável nesta matéria, excluindo os resíduos de produção.

#### **2.4.4 Decreto-Lei n.º 407/98 de 21 de Dezembro - Requisitos essenciais relativos à composição das embalagens e níveis de concentração de metais pesados nas embalagens**

O Decreto-Lei n.º 366-A/97, de 20 de Dezembro, estabelece as regras e os princípios gerais a que deve obedecer a gestão de embalagens e resíduos de embalagens.

O presente decreto-lei estabelece a regulamentação prevista nos artigos 8.º e 9.º daquele diploma, quanto aos requisitos essenciais relativos à composição das embalagens e níveis de concentração de metais pesados nas embalagens, completando a transposição para a ordem jurídica interna da Directiva n.º 94/62/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 20 de Dezembro.

#### **2.4.5 Decreto-Lei n.º 162/2000 de 27 de Julho - Gestão de embalagens e resíduos de embalagens**

O Decreto-Lei n.º 366-A/97, de 20 de Dezembro, transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 94/62/CE, do Parlamento e do Conselho, de 20 de Dezembro, e estabeleceu os princípios e as normas aplicáveis à gestão de embalagens e resíduos de embalagens, com a finalidade de prevenir a produção desses resíduos, fomentar a reutilização de embalagens usadas, a reciclagem e outras formas de valorização de resíduos de embalagens e consequente redução da sua eliminação final, procurando garantir o funcionamento do mercado interno, evitando entraves ao comércio e distorções e restrições da concorrência na comunidade.

A aplicação deste diploma legal veio, no entanto, demonstrar que algumas das suas disposições deveriam ser alteradas, de forma a ajustá-las à realidade, procurando-se, assim, solucionar problemas de aplicação detectados e veiculados pelos operadores económicos à Comissão de Acompanhamento de Gestão de Embalagens e Resíduos de Embalagens (CAGERE). Deste modo, ao nível da responsabilização pela gestão dos resíduos de embalagens, é salvaguardado na nova redacção do artigo 4.º um tratamento equitativo aos embaladores de produtos destinados ao cidadão comum, bem como aos produtores de resíduos de embalagens urbanas e não urbanas, e no novo n.º 3 do artigo 6.º é garantido o funcionamento do mercado interno sem quaisquer entraves que possam ser derivados de âmbitos de aplicação distintos do símbolo aí previsto.

#### **2.4.6 Decreto-Lei N.º 92/2006, de 25 de Maio - Gestão de embalagens e resíduos de embalagens**

Os objectivos quantitativos de valorização e reciclagem de resíduos de embalagens foram revistos pela Directiva n.º 2004/12/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de Fevereiro. O presente decreto-lei transpõe para a ordem jurídica nacional as alterações decorrentes da Directiva n.º 2004/12/CE, através da concretização do princípio da prevenção da produção de resíduos de embalagens, da introdução de critérios auxiliares da definição de “embalagem” e da actualização dos objectivos de gestão de resíduos de embalagens.

#### **2.4.7 Decreto-Lei nº 152/2002 de 23 de Maio - Deposição de resíduos em aterros**

A deposição de resíduos em aterros constitui uma particular operação de gestão de resíduos que, em Portugal, encontra no Decreto-Lei n.º 239/97, de 9 de Setembro, ou Lei-Quadro dos Resíduos, as regras gerais do seu exercício e no Decreto-Lei n.º 321/99, de 11 de Agosto, o regime legal aplicável a aterros de resíduos industriais banais.

Não obstante, no domínio da deposição de resíduos em aterros, a necessidade de assegurar em termos mais eficazes a protecção do ambiente e da saúde humana, em consonância com os princípios gerais de gestão de resíduos, impõe a uniformização do regime desta modalidade de eliminação de resíduos, pela adopção de especiais medidas, aplicáveis genericamente à instalação e ao funcionamento das diferentes classes de aterros. Com efeito, a deposição de resíduos em todos os aterros deve ser controlada e gerida de forma adequada, garantindo, simultaneamente, a efectiva prevenção do abandono de resíduos e a sua deposição descontrolada, bem como a escolha de locais e o uso de metodologias e técnicas de deposição consentâneas com as exigências de preservação e de melhoria da qualidade do ambiente. Esta constatação encontra-se, aliás, sublinhada na Directiva n.º 1999/31/CE, do Conselho, de 26 de Abril, relativa à deposição de resíduos em aterros, cuja transposição para o ordenamento jurídico interno justifica, também, a presente iniciativa legislativa.

No quadro do novo regime legal, insere-se o objectivo de consolidar a estratégia nacional e comunitária relativa aos resíduos e a consequente política de redução, valorização e tratamento de resíduos, de forma que seja depositada em aterros uma quantidade de resíduos progressivamente menor e que, em simultâneo, os aterros apresentem um elevado

nível de protecção do ambiente. Assim, o presente diploma estabelece as normas aplicáveis em matéria de instalação, exploração, encerramento e manutenção pós-encerramento de aterros. A localização dos aterros, a sua concepção e construção são também aspectos que merecem uma especial atenção, tendo em vista a protecção, preservação e melhoria da qualidade ambiental e a prevenção dos riscos para a saúde humana.

#### **2.4.8 Decreto-Lei nº 173/2008 - Prevenção e controlo integrados da poluição**

O Decreto-Lei n.º 194/2000, de 21 de Agosto, aprovou o regime jurídico relativo à prevenção e controlo integrados da poluição, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 96/61/CE, do Conselho, de 24 de Setembro, relativa à prevenção e controlo integrados da poluição a qual foi, entretanto, alterada pela Directiva n.º 2003/35/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 26 de Maio, relativa à participação do público na elaboração de certos planos e programas relativos ao ambiente, e posteriormente codificada pela Directiva n.º 2008/1/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 15 de Janeiro.

Da experiência colhida nos oito anos de vigência do regime jurídico em apreço, resulta a necessidade de proceder à sua actualização de forma a adequar e tornar mais célere o procedimento de licença ambiental nele previsto, harmonizando-o com outros regimes jurídicos que prevêem, igualmente, procedimentos de licenciamento ou autorização de instalações, designadamente o regime de exercício da actividade industrial (REAI) e o regime de exercício da actividade pecuária (REAP), num esforço de simplificação legislativa e administrativa com vista à obtenção de ganhos de eficiência.

Na senda do Decreto-Lei n.º 194/2000, de 21 de Agosto, o presente decreto-lei mantém a integração do procedimento de licença ambiental no procedimento de licenciamento ou autorização de instalações abrangidas pelos referidos regimes, designadamente nos procedimentos instituídos pelo REAI e pelo REAP.

A alteração mais significativa consubstancia-se no facto da licença ambiental passar a constituir uma condição de início de exploração ou funcionamento da instalação e não, como até agora, uma condição da execução do projecto da instalação.

Prevê-se também a possibilidade do operador recorrer a entidades acreditadas na preparação do pedido de licença ambiental que, validando o pedido, criam condições que permitem a redução do prazo fixado para a decisão do pedido de licença ambiental.

Para além disso, na prossecução dos princípios de celeridade e economia processual, dá-se ao operador a faculdade de optar por promover e desenvolver, em simultâneo, vários procedimentos a que a instalação se encontre legalmente sujeita, tais como os procedimentos de avaliação de impacte ambiental e de apreciação do relatório de segurança de estabelecimentos de nível superior de perigosidade, sendo que, nestes casos, a fase de consulta pública ocorre simultaneamente.

Em sede de instrução do pedido de licença ambiental, e em observância do princípio da economia processual, prevê-se a possibilidade de utilizar informações e elementos já disponíveis na entidade coordenadora ou na Agência Portuguesa do Ambiente, entregues pelo operador para efeitos de outros procedimentos da competência destas entidades.

Por outro lado, passa a ser admitida, no âmbito das obrigações de comunicação com idêntica periodicidade a que operador está sujeito, a entrega de um relatório único que contemple todos os elementos necessários ao cumprimento dos diferentes regimes jurídicos, evitando-se, sempre que possível, o envio, por diversas vezes, de informação relativa à instalação.

A presente iniciativa legislativa incorpora ainda as orientações em matéria de *egovernment* e pretende contribuir para as boas práticas de relacionamento entre as empresas e a Administração Pública.

#### **2.4.9 Decreto-Lei nº 233/2004 de 14 de Dezembro – Comércio de licenças de emissão de gases com efeito de estufa**

O Protocolo de Quioto visa garantir o combate efectivo às alterações climáticas através do estabelecimento de compromissos quantificados de limitação ou redução das emissões dos seis principais gases com efeito de estufa (GEE), tendo em vista uma redução global, até 2012, a níveis, pelo menos, 5 % abaixo dos níveis de 1990.

O eficiente cumprimento dos compromissos assumidos pela União Europeia e pelos seus Estados membros determinou a aprovação da Directiva n.º 2003/87/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 13 de Outubro, relativa à criação de um regime de comércio de licenças de emissão de gases com efeito de estufa na Comunidade e que altera a Directiva n.º 96/61/CE, do Conselho, que ora se visa transpor.

Estima-se que o regime comunitário de comércio de licenças de emissão de GEE venha a abarcar 46% do total das emissões de dióxido de carbono na União Europeia e cerca de 10.000 instalações.

A nível nacional, tem-se igualmente procurado dar resposta ao problema das alterações climáticas e aos compromissos internacionalmente assumidos. A Resolução do Conselho de Ministros n.º 72/98, de 29 de Junho, criou a Comissão para as Alterações Climáticas (CAC), de carácter interministerial, com competência para elaborar a estratégia nacional para as alterações climáticas e acompanhar, a nível interno e internacional, a adopção de decisões e a execução de políticas e medidas nesta matéria.

A CAC elaborou a Estratégia Nacional para as Alterações Climáticas, aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 59/2001, de 30 de Maio, reiterando os compromissos internacionais. O esforço de redução exigido a cada uma das Partes do Protocolo é variável. Portugal obrigou-se a limitar o aumento das suas emissões em 27%, relativamente aos valores de 1990.

Em Março de 2002, Portugal aprovou o Protocolo de Quioto, através do Decreto n.º 7/2002, de 25 de Março.

A Resolução do Conselho de Ministros n.º 119/2004, de 15 de Junho, aprovou o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), que quantifica o esforço nacional de controlo das emissões de GEE necessário para o cumprimento dos compromissos assumidos por Portugal em matéria de alterações climáticas, nomeadamente o Protocolo de Quioto e o Acordo de Partilha de Responsabilidades da União Europeia.

De acordo com o PNAC-2004, a evolução da economia nacional até 2010, num cenário sem medidas de redução, resulta num aumento de 54% a 63% das emissões de GEE em 2010, relativamente ao ano de referência de 1990. Este acréscimo implica que, para cumprir o compromisso assumido, no âmbito do Protocolo de Quioto, de limitar o aumento das suas emissões a 27%, Portugal necessita de uma redução de 16 Mt a 21 Mt de dióxido de carbono equivalente (MtCO<sub>2</sub>e).

As medidas incluídas no PNAC permitem prever uma redução potencial até 16,8 MtCO<sub>2</sub>e. Consequentemente, é necessária uma redução suplementar até 5,6 MtCO<sub>2</sub>e, a qual deve ser suprida através do recurso a medidas suplementares nacionais, ao recurso aos mecanismos de mercado do Protocolo de Quioto, bem como ao comércio de licenças de emissão de GEE. O regime do comércio de licenças de emissão de GEE, regulado no presente diploma, cria as condições que permitem às instalações nacionais abrangidas a

utilização deste mecanismo de mercado como a sua contribuição para o esforço nacional de mitigação das emissões de GEE.

#### **2.4.10 Decreto-Lei nº 154/2009, de 6 de Julho – Comércio de licenças de emissão de gases com efeito de estufa**

Este Decreto-lei procede à quarta alteração ao regime jurídico do comércio de licenças de emissão de gases com efeito de estufa, aprovado pelo Decreto-Lei nº 233/2004, de 14 de Dezembro, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva nº 2004/101/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de Outubro.

### **2.5. SÍNTESE DOS ASPECTOS RELEVANTES DA LEGISLAÇÃO COMUNITÁRIA, INTERNACIONAL E NACIONAL**

A revisão da legislação incidiu nos diplomas relacionados com o estudo em questão, nomeadamente as operações de reciclagem, os resíduos sólidos e as embalagens.

As políticas em matéria de ambiente a nível internacional, comunitário e nacional visam a protecção global do ambiente. Pretendem dissociar o crescimento económico e a utilização dos recursos da degradação ambiental.

A Estratégia de Desenvolvimento Sustentável (Conselho Europeu de Gotemburgo de Junho de 2001, [COM (2001) 264 final], revista e adoptada no Conselho Europeu de 16 de Junho de 2006) reafirma o objectivo geral de alcançar a melhoria contínua da qualidade de vida e o bem-estar do planeta para as gerações presentes e futuras, através da criação de comunidades sustentáveis capazes de gerir e utilizar os recursos eficazmente e extrair o potencial de inovação ecológica e social da economia, garantindo prosperidade, protecção ambiental e coesão social. Esta estratégia explicitamente visa aumentar a eficiência do uso de recursos por “aplicação do conceito de ciclo de vida e promoção da reutilização e reciclagem”. Esta estratégia da União Europeia insere-se numa iniciativa global, iniciada em 1992 com a Cimeira da Terra (Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento – CNUAD). A Agenda 21, adoptada na CNUAD, incentivou os Estados a adoptarem estratégias nacionais. Assim, em 2006 Portugal adoptou a “Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável – ENDS 2015” (ENDS).

A iniciativa 3R pretende promover o princípio dos “3Rs” (reduzir, reutilizar e reciclar) globalmente, de modo a construir uma sociedade uníssona em relação ao ciclo dos materiais, através da utilização eficaz dos recursos e dos materiais. A referida iniciativa foi acordada na Cimeira do G8, realizada em *Sea Island* em Junho de 2004 (Reunião dos Ministros do Ambiente do G8, *Kobe*, 2008).

No âmbito do sexto programa comunitário de acção em matéria de ambiente [COM (2001) 31 final], a Comunidade Europeia traçou a estratégia para a utilização sustentável dos recursos naturais [COM (2005) 670], cujo objectivo é reduzir os impactes ambientais negativos provocados pela utilização dos recursos naturais (esgotamento dos recursos e poluição), respeitando simultaneamente os objectivos fixados no Conselho Europeu de Lisboa em matéria de crescimento económico e de emprego. Esta estratégia visa o investimento na prevenção quantitativa e qualitativa.

Outra das estratégias é a de prevenção e reciclagem de resíduos [COM (2005) 666], a qual contempla orientações e estabelece medidas para reduzir as pressões ambientais decorrentes da produção e da gestão de resíduos. Os principais eixos da estratégia incidem numa alteração da legislação, com vista a reforçar a sua aplicação, na prevenção da produção de resíduos e na promoção de uma reciclagem eficaz. A reciclagem reduz a procura de matérias-primas, levando a uma redução na extracção de recursos (Eurostat, 2009). O objectivo da estratégia é reduzir os impactes ambientais negativos gerados pelos resíduos ao longo do seu ciclo de vida, desde que são produzidos até à sua eliminação, passando pela reciclagem. Os resíduos representam uma perda considerável de recursos tanto na forma de materiais como de energia. A abordagem desta estratégia é considerar cada resíduo, não apenas como uma fonte de poluição a reduzir, mas também como um recurso potencial a explorar. Esta abordagem, baseada no ciclo de vida dos produtos e dos resíduos, implica o reforço dos conhecimentos sobre o impacte da utilização dos recursos na produção e gestão de resíduos, além de recorrer de forma mais sistemática a projecções e modelizações. Embora preveja a redução da produção de resíduos, esta estratégia não inclui qualquer objectivo quantitativo global nesta área pois este tipo de objectivos não conduz necessariamente a melhorias ambientais.

O consumo crescente de embalagens levou à emissão de legislação, a Directiva 94/62/CE (transposta para o direito nacional pelo Decreto-lei nº 366-A/97, alterado pelo DL nº 162/2000), revista pela Directiva 2004/12/CE (transposta para o direito nacional pelo DL nº 92/2006), com a finalidade de prevenir a produção de resíduos, fomentar a reutilização de embalagens usadas, a reciclagem e outras formas de valorização de resíduos de



embalagens e consequentemente redução da sua eliminação final. É indispensável que as embalagens sejam concebidas de forma a facilitar a reciclagem e outras formas de eliminação ambientalmente adequadas. Por outro lado, é também indispensável favorecer a utilização de materiais provenientes da reciclagem de embalagens (DL nº 366-A/97). A Directiva Embalagens (Directivas 94/62/CE e 2004/12/CE) contribuiu para a redução do impacto ambiental da utilização dos recursos naturais através da prevenção, reutilização e reciclagem de embalagens. Criou também um quadro económico mais estável para a recolha separada de resíduos de embalagens e sua reciclagem e valorização. Desta forma, gerou oportunidades comerciais e uma série de novos empregos, [SEC (2006) 1579].

Tal como concluído no relatório da Comissão ao Conselho e ao Parlamento Europeu, sobre a aplicação da Directiva 94/62/CE relativa a embalagens e resíduos de embalagens e seu impacto no ambiente, bem como sobre o funcionamento do mercado interno [SEC (2006) 1579], a reciclagem de embalagens teve efeitos ambientais positivos, incluindo a poupança de recursos e a redução de emissões de gases com efeito de estufa. Os custos da reciclagem de embalagens são de uma ordem de grandeza idêntica à das alternativas mais eficientes em termos de custos para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> e de outros impactos ambientais. A Comissão considera que os objectivos de reciclagem e valorização constantes da Directiva Embalagens são actualmente os melhores e devem permanecer estáveis a fim de permitir a todos os Estados-Membros atingir esses objectivos. Progressos substanciais no domínio da prevenção só poderão ser conseguidos mediante a aplicação de medidas adaptadas às condições específicas em que os produtos embalados são comercializados, como, por exemplo, os padrões de consumo e de distribuição.

A política integrada relativa aos produtos, IPP (Livro Verde, [COM (2001) 68]) prevê que a concepção ecológica deve ser promovida junto dos industriais com vista a que os produtos colocados no mercado respeitem mais o ambiente. O Livro Verde considera a educação dos consumidores e das empresas, uma das principais formas de aumentar a procura de produtos que respeitam o ambiente e de tornar o consumo mais ecológico. Para desenvolver a concepção ecológica dos produtos é necessário produzir e publicar informações sobre o impacto ambiental dos produtos ao longo de todo o seu ciclo de vida. Tal passa por uma estratégia global de integração do ambiente no processo de concepção. A legislação comunitária pretende a integração da prevenção dos resíduos na política integrada de produtos e na estratégia comunitária relativa às substâncias químicas [COM (2001) 31 final]. A legislação terá que evoluir no sentido de remover os obstáculos que impedem a utilização de matérias-primas recicladas [COM (98) 463].

## CAPÍTULO 3 – REVISÃO DA LITERATURA

### 3.1 - POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET)

A origem dos poliésteres remonta às primeiras décadas do século passado. Na Universidade de Harvard, o Dr. Wallace H. Carothers desenvolveu os princípios da policondensação de polímeros de cadeia longa e em 1928 entrou para a equipa de investigação da Du Pont. Após múltiplas experiências, os investigadores da Du Pont chegaram aos poliésteres, procurando explorar o seu potencial para a produção de fibras. Em 1941, foi patenteada uma fibra à qual foi dada o nome de Terylene (Bellis, 1998). Desde então, a investigação sobre poliésteres intensificou-se dando origem a uma das principais matérias-primas termoplásticas.

Um termoplástico é um polímero que amolece e pode fluir quando aquecido. Quando é arrefecido, endurece e mantém a forma que lhe foi imposta. O aquecimento e arrefecimento podem ser repetidos muitas vezes (Pouzada e Bernardo, 1983).

O Politereftalato de Etileno (PET) é um polímero cujas moléculas consistem de longas cadeias de unidades repetitivas que contêm apenas carbono (C), oxigénio (O) e hidrogénio (H) (Petcore, 2009). As macromoléculas de PET puro (o chamado homopolímero) constituem-se de repetições da molécula mais simples, o monómero de tereftalato de etileno (figura 3.1). Este pode ser obtido a partir do ácido tereftálico (PTA) ou do dimetiltereftalato (DMT) combinados com etilenoglicol (EG). Ao reagirem, possibilitam longas cadeias macromoleculares, de elevado peso molecular. Nos polímeros comerciais, 130 a 155 repetições desse monómero constituem a macromolécula típica de PET (Fradet e Tessier, 2003).

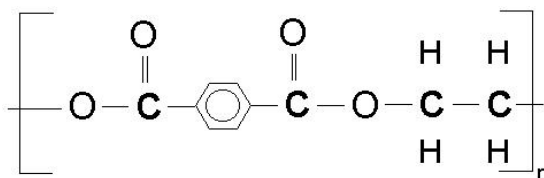
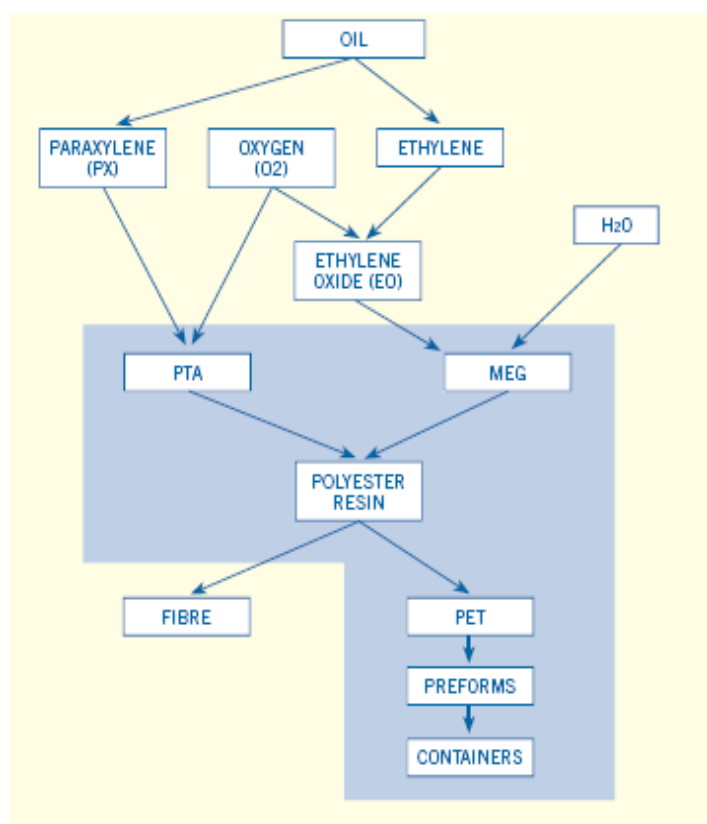


Figura 3.1 – Monómero de politereftalato de etileno (PET) (Gorni, 2000)

No processo de polimerização do PET quaisquer das espécies moleculares presentes no sistema reaccional pode reagir entre si. Neste mecanismo, o polímero cresce por blocos, ou seja, o PET resulta de um processo de polimerização por crescimento em etapas. (Pouzada e Bernardo, 1983). Em cada ligação que é estabelecida liberta-se uma molécula simples o que levou a designar o processo como “condensação”. A reacção entre o PTA e o EG, através dos grupos funcionais carboxilo e hidroxilo, produz um éster, com rejeição de água ( $H_2O$ ). A reacção entre o DMT e o EG rejeita metanol ( $MeOH$ ) (Besnoin e Choi, 1989).

Tanto o PTA como o DMT são fabricados a partir do paraxileno, cuja origem é o petróleo. Para produzir 1 tonelada de DMT são necessários 0,63 toneladas de paraxileno e 0,41 toneladas de metanol. Para o PTA são necessárias 0,66 toneladas de paraxileno (Montenegro et al., 1996). O outro componente necessário para a fabricação do PET, o etilenoglicol, é produzido a partir do etileno, que pode ser obtido quer através do petróleo, quer através do gás natural (Petcore, 2009). Para produzir 1 kg de PET são necessários 1,9 kg de petróleo, necessitando de 84 MJ (23kWh) de energia (Sustec, 2003). A figura 3.2 apresenta um esquema sucinto da fabricação do PET.



**Figura 3.2: Esquema sucinto de produção de PET a partir do ácido tereftálico (La Seda, 2008)**

O PET homopolímero cristaliza com facilidade, prejudicando a transparência do polímero. Para se evitar esse problema as condições de processamento têm de ser muito precisas. Por isso, o PET homopolímero não é muito usado. Para se obter um produto com boa transparência prefere-se usar copolímeros de PET, os quais cristalizam mais lentamente, facilitando as condições de transformação (ILSI, 2000). As macromoléculas dos copolímeros de PET contêm outros monómeros além do tereftalato de etileno, ou seja, no homopolímero a macromolécula é constituída pela repetição de um só monómero (molécula simples), já no copolímero, a macromolécula é constituída pela repetição de mais de um monómero (Besnoin e Choi, 1989).

Alguns copolímeros de PET apresentam macromoléculas formadas pela repetição de dois monómeros:

- a) ciclohexanodimetanol e ácido tereftálico;
- b) etilenoglicol e ácido isoftálico.

Estes monómeros estão distribuídos aleatoriamente ao longo da macromolécula, dificultando a cristalização do polímero e favorecendo a sua transparência (Gorni, 2000).

A primeira etapa da fabricação de PET é a **esterificação** com formação do monómero bis(hidroxietil)tereftalato (BHET), na presença de um catalisador metálico (Awaja e Pavel, 2005). Os catalisadores são utilizados em concentrações extremamente baixas, a sua função é promover as reacções ou acelerá-las e consequentemente diminuir o custo. O catalisador mais comum é o trióxido de antimónio, embora sejam também utilizados sais de titânio, germânio, cobalto, manganês, magnésio e zinco. Pequenas quantidades de catalisador permanecem encapsuladas dentro da cadeia polimérica (ILSI, 2000). A razão molar utilizando EG/DMT é de 1,7 a 2,0/1. A reacção é conduzida a temperatura elevada, entre 160 a 180 °C durante 3 a 4 horas. No caso do EG/PTA a razão molar é de 1,3/1 a 1,5/1. (Besnoin e Choi, 1989). A esterificação com PTA e EG ocorre a temperatura entre 240 a 260°C e a pressão entre 300 a 500 kPa (Awaja e Pavel, 2005). Além do monómero, o resultado da esterificação é o metanol (com DMT) ou água (com PTA), os quais são separados do vapor de EG numa coluna de destilação, e polímeros de baixo peso molecular, os oligómeros (Besnoin e Choi, 1989).

A segunda etapa é a polimerização do monómero, **policondensação em estado líquido**, que ocorre a temperaturas elevadas, 280-300°C, e vácuo, 15-25 torr, com um tempo de residência de cerca de 2h. No início da polimerização adiciona-se um estabilizador a fim de aumentar a estabilidade térmica do polímero. O final da polimerização é determinado pelo

aumento da viscosidade (Besnoin e Choi, 1989). Para se obter um polímero com IV de 0,675 dl/g, o nº de repetições do monómero é cerca de 113 (Selenis, 2005).

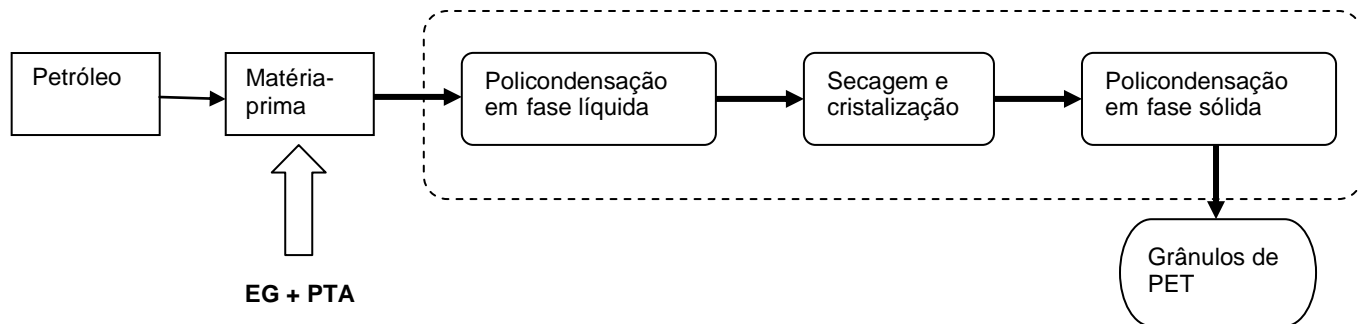
No final do ciclo de polimerização, o polímero é extrudido em forma de filamentos, através de uma fiação, arrefecido em água e granulado num cortador que lhe confere as dimensões adequadas. Posteriormente, é seco e peneirado. O polímero resultante é um poliéster saturado amorfo, daí os grânulos serem transparentes. Os grânulos são então transferidos para silos onde são armazenados (Selenis, 2005). Este processo de produção pode ser contínuo ou descontínuo (Besnoin e Choi, 1989). O quadro 3.1 apresenta dados de emissões e consumos do processo de fabricação do PET amorfo.

O PET amorfo necessita ainda de processamento adicional para poder ser utilizado na produção de materiais de embalagem. Nesta fase apresenta elevado teor de acetaldeído (que afecta o sabor de vários produtos alimentares), contém impurezas (susceptíveis de provocar degradação no processo de moldação), e tem tendência para aglomerar (afectando a eficiência dos alimentadores de secagem) (Kirshenbaum et al., 1979). O polímero amorfo (polímero base) é **cristalizado** (de forma a evitar que os grânulos venham a colar-se), para atingir um grau de cristalinidade de aproximadamente 40 %, por acção de um choque térmico provocado pela passagem de um caudal elevado de ar quente. A amplitude de temperaturas está entre (120 – 170) °C (Besnoin e Choi, 1989).

Na etapa seguinte o polímero passa para um reactor onde ocorre a **policondensação em estado sólido** (SSP), a temperaturas inferiores à de fusão do PET, entre (200 – 240) °C. A reacção dá-se numa atmosfera de azoto, que está permanentemente em circulação, seca e isenta de oxigénio. Nesta etapa a viscosidade intrínseca obtida está entre (0,78 - 0,82) dl/g (Awaja e Pavel, 2005). Esta etapa remove todas as impurezas voláteis, tais como o acetaldeído, glicóis livres e água. O elevado peso molecular é essencial para obter boas propriedades mecânicas (Besnoin e Choi, 1989). A figura 3.3 apresenta um esquema simplificado das etapas de fabricação da resina PET. O quadro 3.2 apresenta dados de emissões e consumos do processo de SSP.

Quando os grânulos saem do reactor de SSP, são arrefecidos e armazenados em silos. Normalmente, o produto é armazenado sob nitrogénio ou ar seco pois os grânulos de PET são muito higroscópicos e a presença de pequenos traços de água poderia diminuir o grau de polimerização, hidrólise. (BREF, 2007). Normalmente, a resina tem de ser seca antes de ser transformada, devendo conter não mais do que 0,01% de água (van der Vegt e Govaert, 2002).

Quando o polímero já está formado é muito difícil purificá-lo, por essa razão a pureza dos materiais iniciadores é a chave para obter o polímero de elevadíssima qualidade, o qual é necessário para embalagem alimentares (ILSI, 2000).



**Figura 3.3: Esquema simplificado de produção da resina PET**

No quadro 3.1, verifica-se que os diferentes processos de fabrico da resina PET têm consumos diferentes de energia. Este consumo depende da capacidade da fábrica, do desenho do reactor e da concentração do catalisador, sendo que grandes consumos de catalisador reduzem o consumo de energia. Os valores de CQO são sempre referentes a águas residuais antes de entrarem numa ETAR (BREF, 2007).

		Processo DMT	Processo PTA	Processo DMT-BPU
<b>Dados de consumo</b>	Unidades			
Energia total	MJ/t	2513 - 7410	2087 - 4500 (18500) <sup>1</sup>	5100 - 11942
Água	m <sup>3</sup> /t	0,1 – 2,15	0,4 - 10	7,5 - 122
DMT/PTA	t/t	1,02	0,825 – 0,87	1,01 – 1,04
EG	t/t	0,35 – 0,38	0,32 – 0,355	0,338 – 0,380
Catalisadores	g/t	589 - 1150	270 - 615	332 - 1323
Estabilizadores	g/t	70 - 140	0 - 100	40 – 150
<b>Emissões</b>				
Metanol	g/t	Até 73		50,7 – 300
Acetaldeído	g/t	Até 60	Até 60	28,5 – 1750
EG	g/t	Até 10	Até 10	8,8 – 73
HTM	g/t	50 - 90		80 – 110
VOC	g/t	70 – 800 70 – 120 usando oxidação térmica	Até 1200 usando oxidação catalítica	32,5 - 2160
<b>Desperdícios</b>				
Desperdício de polímero	g/t	400 - 5556	140 - 18000	Até 6000
Desperdícios perigosos	g/t	Até 0,45	Até 0,45	Até 800
Outros desperdícios	g/t	10700 - 16000	2000 - 5000	12400 – 25000
<b>Água residual</b>				
CQO	g/t	8000 - 16000	2000 - 16000	3000 – 5210
<b>Ruído</b>	dB	Até 66	Até 68	Até 66
<sup>1</sup> PET de elevada viscosidade para embalagens alimentares				

**Quadro 3.1: Dados de emissões e consumos do processo de produção de PET amorfo (BREF, 2007)**

No quadro 3.2, o valor do VOC corresponde à soma de acetaldeído e HTM. Os valores de CQO são sempre referentes a águas residuais antes de entrarem numa ETAR.

		Pós condensação em contínuo	Pós condensação em “batch”
<b>Dados de consumo</b>	Unidades		
Energia total	MJ/t	903 – 949	2130 – 2379
Água	m <sup>3</sup> /t	0,2 – 15	0,9 – 1
<b>Emissões</b>			
Acetaldeído	g/t		Até 64
HTM	g/t		Até 56
VOC	g/t		Até 120
<b>Desperdícios</b>			
Desperdícios de polímero	g/t	Até 667	0 – 1430
Desperdícios perigosos	g/t	0	Até 120
Outros desperdícios	g/t	0	0
<b>Água residual</b>			
CQO	g/t	Até 663	Até 1300

**Quadro 3.2: Dados de emissões e consumos do processo de SSP (BREF, 2007)**

O PET pode ser obtido em vários tipos diferentes (*grades*), apropriados às exigências particulares de cada aplicação à qual se destina (ILSI, 2000). A principal diferença entre os tipos de PET reside no peso molecular ou grau de polimerização que dá origem a diferentes propriedades dos materiais resultantes. Quanto maior o peso molecular, maior a resistência mecânica, química e térmica do PET. O peso molecular do PET é de aproximadamente 25.000 (Selenis, 2005). Como uma cadeia de polímero é formada pela adição de uma grande quantidade de monómeros, durante a polimerização serão formadas cadeias com diferentes comprimentos, e portanto, será obtida uma distribuição de comprimentos de cadeia. Consequentemente, existirá também uma distribuição de pesos moleculares, não sendo possível obter um valor único e definido para o peso molecular do polímero, sendo que este deve ser calculado baseado numa média da distribuição dos pesos moleculares (ILSI, 2000). Normalmente, o peso molecular é medido e expresso indirectamente, através dos valores da viscosidade intrínseca (IV), numa relação de proporcionalidade directa. Quanto maior o IV, maior o peso molecular da resina (Montenegro et al., 1996).



O PET é classificado como polímero semi-cristalino e quando é aquecido acima de 72°C (T<sub>g</sub>) muda de um estado vítreo rígido para um estado viscoelástico, no qual as cadeias moleculares poliméricas podem ser estiradas e alinhadas (Pouzada e Bernardo, 1983). A temperatura acima dos 72°C, se o PET for mantido na forma estirada, cristaliza lentamente e começa a ficar opaco, mais rígido e menos flexível. Então é designado como PET cristalino ou CPET. Nesta forma, é capaz de aguentar temperaturas elevadas e pode ser usado para embalagens que vão ao forno ou ao microondas. Neste caso, um agente nucleante ou promotor da cristalização é utilizado e o peso molecular é aumentado (ILSI, 2000). Para desenvolver propriedades específicas para as várias aplicações de embalagem e para adequar-se a equipamentos de produção específicos, podem introduzir-se modificações de natureza química com o objectivo de manipular o PET entre diferentes formas cristalinas (Awaja e Pavel, 2005). Por exemplo, pequenas concentrações de um apropriado comonomero (ácido isoftálico, IPA, ou 1,4-ciclohexanodimetanol) reduzem a velocidade de cristalização e permitem por exemplo a produção de garrafas de paredes espessas, filmes e chapas de elevada espessura (ILSI, 2000).

A estrutura linear, em conjugação com a facilidade de processamento, determina as boas características físicas e químicas do PET: excelente transparência e brilho, baixa densidade, alta resistência ao impacto, boa resistência química e térmica, boas propriedades de barreira aos gases e odores, barreira à humidade aceitável, compatível com outros materiais barreira, boa estabilidade dimensional (baixa deformação sob carga), alta resistência ao desgaste, muito bom coeficiente de deslizamento, totalmente reciclável e aprovado para contacto alimentar (Silva e Miranda, 2003). O PET é biologicamente inerte, se ingerido, não é perigoso se inalado e é inodoro. Em termos dermatológicos, o manuseamento é seguro. Estudos feitos com animais não evidenciaram toxicidade (ILSI, 2000). O facto de o PET não ser prejudicial ao organismo humano é uma característica decisiva para a escolha do PET para o fabrico de embalagens para a indústria alimentar (Goje e Mishra, 2003). O sucesso do PET na área da embalagem está relacionado com a facilidade de produção de embalagens leves e práticas para o consumidor (ILSI, 2000). O quadro 3.3 apresenta um resumo das características gerais do polímero PET.

### **PET – Características gerais**

Massa molecular	15.000 - 42.000
Densidade	1,33 – 1,45 g/cm <sup>3</sup>
Índice de refração (n)	1,65 – 1,66
Módulo de Young (E)	2800–3100 MPa
Resistência à tracção	55–75 MPa
Alongamento à rotura	50–150%
Resistência ao impacte	3,6 kJ/m <sup>2</sup>
Temperatura de transição vítrea	70 - 75 °C
Temperatura de fusão	250 - 270 °C
Temperatura Vicat	170 °C
Condutividade térmica	0.24 W/m.K
Coeficiente de expansão linear	7×10 <sup>-5</sup> /K
Calor específico (c)	1,0 kJ/Kg.K
Absorção de água (ASTM)	0,16
Preço	0,5–1,25 €/kg

### **Quadro 3.3: Características gerais do PET (vam der Vegt e Govaert, 2002)**

As excelentes propriedades do PET, associadas ao seu baixo custo de produção e aperfeiçoamento do seu processo de fabrico, fizeram com que este material se tornasse um dos principais plásticos da actualidade, mudando o seu antigo *status* de plástico de engenharia para *commodity* (Gorni, 2004).

O PET foi inicialmente concebido como material para fibras têxteis. Em seguida, entrou no campo do filme biorientado e, mais recentemente, no das garrafas para bebidas carbonatadas e águas minerais (ILSI, 2000). As primeiras garrafas de refrigerantes em PET foram fabricadas em 1977, nos EUA (Plastval, 2008). Nos últimos 20 anos do século passado assistimos à generalização das garrafas PET, que se tornaram a embalagem de referência para muitos produtos líquidos (águas minerais, sumos, bebidas carbonatadas, bebidas isotónicas, detergentes e produtos de limpeza, óleos e azeites, produtos cosméticos, molhos, produtos químicos e lubrificantes e produtos para tratamento agrícola). As garrafas e frascos de PET são produzidos pelo processo de injeção-sopro. A sua resistência ao impacto traduz-se em vantagens durante o engarrafamento (menos quebras), durante o transporte e armazenagem (Silva, 2002).

O polímero PET é utilizado por extrusão em aplicações como filmes e chapas destinados a termoformação de embalagens alimentares ou *blisters* para aplicações médico-farmacêutica

ou de uso geral, como embalagens de material de escritório (e.g. canetas, lápis), material eléctrico, de uso doméstico (e.g. pilhas, lâmpadas) e higiene pessoal (escovas de dentes). Por extrusão em filamentos, aplica-se em fios de pesca, filtros industriais e fechos de correr. Na área das fibras de poliéster, são produzidos tecidos para estofos, protecção e decoração assim como peças de vestuário (Selenis, 2005).

O crescente interesse na reciclagem do PET está relacionado com a grande difusão deste polímero no mercado de embalagens (Goje e Mishra, 2003). A principal vantagem do PET comparado com outros plásticos é que não possui *Downcycling*, ou seja, o produto reciclado tem praticamente as mesmas propriedades que o produto inicial (Sustec, 2003). O PET possui uma propriedade física que o torna muito mais adequado a aplicações que envolvam reciclagem que outros materiais plásticos, o baixo coeficiente de difusão. Este coeficiente é um factor de cem (100) abaixo de outros materiais, o que significa que é mais difícil para os contaminantes entrarem e saírem do PET (Begley e Hollifield, 1993). O PET não cria um perigo directo para o ambiente, mas devido ao seu volume substancial no fluxo de desperdícios e a sua elevada resistência aos agentes biológicos e atmosféricos é visto como um material nocivo (Goje e Mishra, 2003). As excelentes propriedades do PET, necessárias para as suas várias aplicações, são também responsáveis pela dificuldade de degradação do PET e pelo acumular de resíduos deste material, o que cria sérios problemas ambientais ligados à deposição em aterros ou queima de resíduos ilegais. Assim, a reciclagem do PET pós-consumo é uma preocupação a nível mundial (Sino, 2003).

A figura 3.4 ilustra o ciclo do poliéster, desde a extracção do petróleo passando pela fabricação da resina, transformação em fibras ou garrafas de PET, reciclagem do material pós-consumo e reincorporação no processo de produção.

## A rota do poliéster

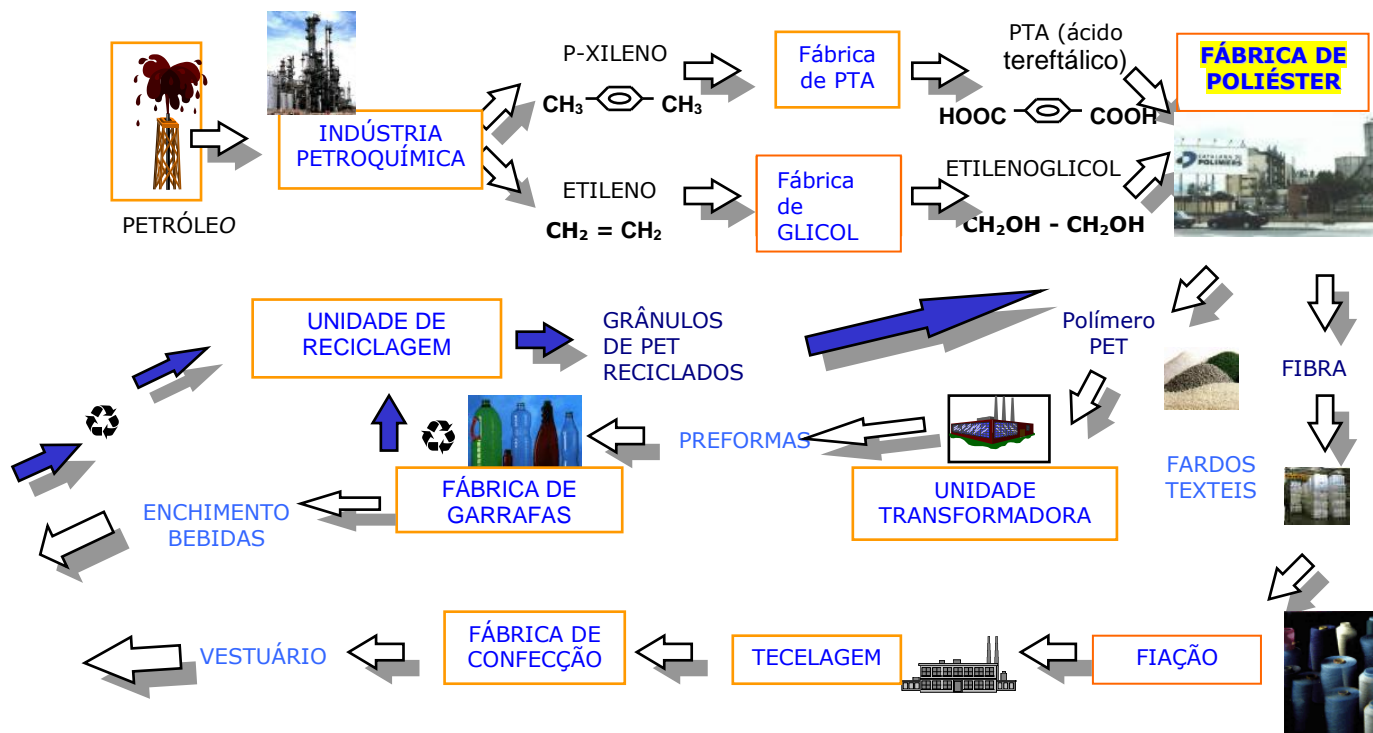


Figura 3.4: A rota do poliéster (Catalana de Polímers S.A. e La Seda de Barcelona, S.A., 2002)

### 3.2. RECICLAGEM

Reciclar consiste em vários processos pelo qual deve passar um determinado material, após já ter sido fabricado ou utilizado e descartado, para que retorne novamente ao ciclo de produção e possa ser transformado num bem de consumo, assim economizando energia e preservando os recursos naturais e o meio ambiente (Silva e Miranda, 2003).

Podemos classificar a reciclagem de plásticos em quatro tipos: primária, secundária, terciária e quaternária (Spinacé, 2005; Brandrup, 1992; Ehrig e Curry, 1992).

**Reciclagem primária** – consiste na recuperação dos resíduos na própria indústria geradora ou por outras empresas transformadoras. Esses resíduos, conhecidos como resíduos industriais, são constituídos, por exemplo, por produtos dos arranques ou paragens das máquinas, produtos classificados como não conforme, e aparas provenientes do corte.

**Reciclagem secundária ou pós-consumo** – conversão de resíduos plásticos de produtos descartados, tais como os que são depositados nos ecopontos ou encaminhados juntamente com os RSU.

**Reciclagem terciária ou química** – conversão de resíduos plásticos em produtos químicos e/ou combustíveis.

**Reciclagem quaternária ou energética** - processo tecnológico de recuperação de energia de resíduos poliméricos por incineração controlada.

Os processos de reciclagem primária e secundária são também designados por reciclagem mecânica ou física, o que os diferencia é o facto da reciclagem primária utilizar resíduos pós-industrial e a secundária utilizar resíduos pós-consumo.

### **3.2.1 Reciclagem mecânica**

A reciclagem mecânica de plásticos é um processo bastante difundido. Porém, a qualidade do produto final está bastante condicionada pela qualidade do produto a reciclar, ou seja, da qualidade dos resíduos encaminhados para reciclagem. Desde sempre a indústria de plásticos tem utilizado a reciclagem, nomeadamente dos seus próprios desperdícios de produção, o chamado resíduo industrial, mas o desafio maior coloca-se na reciclagem de plásticos pós-consumo provenientes dos sistemas de recolha selectiva (Plastval, 2009; Petcore, 2000; FDA, 1992).

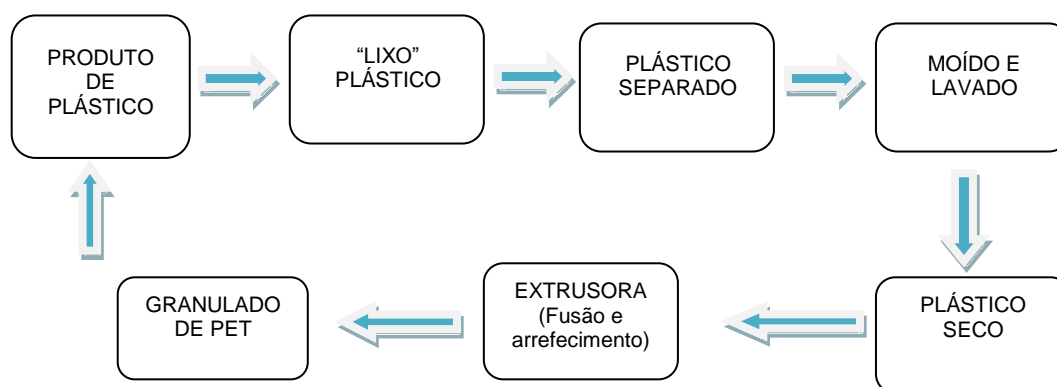
A reciclagem mecânica envolve várias fases de operação, nomeadamente, a recolha de resíduos (recolha selectiva), a separação e triagem dos diferentes tipos de plásticos, a limpeza para retirar sujidade e restos de conteúdos e a valorização, por produção de plástico granulado ou em escama (*flake*) (Goje e Mishra, 2003).

Qualquer processo de reciclagem mecânica de material pós-consumo contempla as seguintes etapas de produção (Spinacé e De Paoli, 2005):

- Separação;
- Trituração ou moagem;
- Lavagem;
- Secagem;
- Extrusão e granulação (opcional).

A figura 3.5 apresenta um esquema simplificado dessas etapas. A sequência das referidas etapas varia de empresa para empresa dependendo do processo que está implementado. Convém ressaltar que esta é uma abordagem generalista, pois as unidades de reciclagem poderão ter maior ou menor complexidade dependendo do produto final que se pretende obter, da aplicação do produto e do próprio processo (Previero, 2009).

Na reciclagem mecânica as moléculas poliméricas não são alteradas, porém é muito difícil remover os contaminantes até níveis muito baixos (Maia, 2004).



**Figura 3.5: Representação das etapas básicas da reciclagem mecânica**

### 3.2.1.1 Separação

As embalagens de PET pós-consumo são normalmente agrupadas em fardos prensados. No processo de enfardamento não se deve usar arame, pois a ferrugem é um contaminante do plástico. A armazenagem também deverá ser longe de barro e areia, outros materiais capazes de alterar a qualidade do reciclado (Silva e Miranda, 2003).

Os fardos são desfeitos e as embalagens seguem por uma esteira a qual pode ser utilizada apenas como alimentadora ou na qual pode ocorrer a separação dos diferentes tipos de contaminantes presentes no PET pós-consumo, tais como outros plásticos, de acordo com a identificação ou com o aspecto visual (Spinacé e De Paoli, 2005). Pode também ocorrer uma separação do PET por cores, as quais são verde, castanho/âmbar e transparente/azul (*light blue*) (Silva e Miranda, 2003). Nesta etapa podem ser separados também rótulos, tampas de garrafas e produtos compostos por mais de um tipo de plástico, tais como embalagens metalizadas (Awaja e Pavel, 2005). Por ser uma etapa geralmente manual, a

eficácia depende directamente da prática das pessoas que executam essa tarefa e da velocidade da esteira ou tapete (Spinacé e De Paoli, 2005).

Além do PVC, que é um dos principais contaminantes do PET, existem outros, tais como, metais, rótulos e cola. Esta última, age como catalisador de degradação hidrolítica quando o material é submetido a alta temperatura no processo de extrusão, além de escurecer e endurecer o reciclado (Gottesman, 1992; Pawlak et al., 2000).

#### **3.2.1.2 Moagem**

Após separado, o PET é moído e fragmentado em pequenas partes, com o formato de escamas (*flakes*) (Awaja e Pavel, 2005). A trituração ocorre em moinhos de facas rotativas (Spinacé e De Paoli, 2005). É importante que o material moído tenha dimensões uniformes para que a fusão também ocorra uniformemente (Brandrup et al., 1996). A presença de pó proveniente da moagem é inconveniente, pois este funde antes e não facilita o escoamento do material nos equipamentos de processo (Spinacé e De Paoli, 2005).

#### **3.2.1.3 Lavagem**

Após triturado, o plástico passa por uma etapa de lavagem com água para a retirada dos contaminantes. A água é misturada com uma solução de lavagem contendo soda cáustica (Awaja e Pavel, 2005; Ehrig et al., 1992). A água de lavagem pode ser recirculada para reduzir os custos de operação. As águas residuais são tratadas para descarga como efluente (Remédio et al, 1999).

A lavagem é entendida como a descolagem e separação da sujidade aderente aos resíduos plásticos (Brandrup et al., 1996). A separação da sujidade resistente requer longos banhos ou circulação intensiva. Normalmente, ocorre em tanques com agitação mecânica, abertos ou fechados, ou em parafusos sem fim a baixa velocidade (Letras, 2008; Manual de Produção da Selenis Ambiente, 2004). A separação da sujidade sólida pode também ocorrer por adição de agentes precipitantes ou floculantes (Letras, 2008). Para a remoção de gordura são utilizadas soluções com detergentes e aquecimento (Brognoli, 2006).

#### 3.2.1.4 Secagem

Esta etapa tem como objectivo a redução do teor em humidade do plástico lavado. A humidade adere primariamente à superfície do plástico, razão pela qual quanto maior for a superfície do material maior é o seu teor em humidade (Brandrup et al., 1996).

A secagem do PET é importante porque este é um material altamente higroscópico, como tal pode sofrer hidrólise durante o reprocessamento (Awaja e Pavel, 2005). A humidade residual tolerável é definida pela redução na qualidade durante o processo de fusão (Brandrup et al., 1996). Os resíduos de detergente podem agir como catalisadores na hidrólise e aumentar a degradação do plástico (Spinacé e Pavel, 2005). Os plásticos podem ser secos por processos mecânicos ou térmicos. Nos processos mecânicos a humidade é removida por força da gravidade ou inércia. Os equipamentos de secagem resumem-se a sistemas de transporte de ar quente, conduzido por centrifugação ou em contra-corrente. Na secagem térmica são utilizados três mecanismos: condução térmica, convecção e radiação (Letras, 2008). Após secagem os *flakes* são conduzidos para silos ou são ensacados em *big-bags*.

#### 3.2.1.5 Extrusão

O processo consiste na fusão do plástico triturado, por fricção e por acção do calor, tornando-o homogéneo. À saída da extrusora encontra-se a fiação, da qual sai um fluxo de plástico contínuo, que é arrefecido com água. Em seguida, o plástico é cortado e transformado em grãos (*pellets*) (Awaja e Pavel, 2005; Manual de Produção da Selenis Ambiente, 2004).

### 3.2.2 Reciclagem química

A reciclagem química implica uma alteração da estrutura química do material, de tal maneira que os produtos químicos resultantes podem ser usados para produzir o material original novamente. Esses processos incluem a recuperação do monómero (Tukker, 2002).

Entre os processos de reciclagem química existentes, destacam-se (Al-Salem et. al, 2010):

**Hidrogenação ou liquefacção:** As cadeias são quebradas mediante o tratamento com hidrogénio e calor, gerando produtos capazes de serem processados em refinarias;



**Gaseificação:** Os plásticos são aquecidos com ar ou oxigénio, gerando-se gás de síntese contendo monóxido de carbono e hidrogénio;

**Quimólise ou despolimerização química:** Consiste na quebra parcial ou total dos plásticos em monómeros, na presença de um agente de despolimerização, ou seja, a despolimerização do resíduo polimérico com subsequente regeneração e purificação dos monómeros resultantes (ou oligómeros).

**Pirólise:** É a quebra das moléculas pela acção do calor em ausência de oxigénio, transformando o plástico em óleo e gases. Este processo gera fracções de hidrocarbonetos capazes de serem processados em refinarias.

Entre outros métodos de reciclagem de polímeros, a reciclagem química aplicada principalmente no caso de polímeros condensados pós-consumo, os quais são muito vulneráveis à clivagem das cadeias por solvólise, é de grande interesse. As poliamidas, os poliuretanos e os poliésteres pertencem a este grupo de polímeros (Goje e Mishra, 2003).

Algumas das vantagens da reciclagem química do PET são a disponibilidade de um vasto leque de agentes de despolimerização e uma grande variedade de produtos, tais como monómeros para síntese de polímeros e resinas e outros aditivos para materiais poliméricos (Deng, et al., 2003).

A reciclagem química é particularmente atractiva no que se refere aos resíduos industriais porque os monómeros resultantes podem ser utilizados directamente no processo diminuindo a necessidade de compra de matérias-primas, reduzindo consequentemente os custos das empresas (Goje e Mishra, 2003).

### **3.2.2.1 Quimólise do PET**

A despolimerização do PET ocorre por quebra da ligação éster, devido a adição de um agente de despolimerização. Frequentemente, a molécula condensada durante a polimerização é usada como agente de despolimerização. A reacção de polimerização por policondensação usada para sintetizar o PET é reversível. Assim, a adição de um produto da reacção força o equilíbrio para a formação de oligómeros de baixo peso molecular ou unidades repetitivas do monómero (Maia, 2004).

Os processos de despolimerização química do PET são geralmente divididos em metanólise, glicólise, hidrólise, amonólise e aminólise, existindo, no entanto, outros

processos (Deng, et al., 2003). Existem diversos agentes de despolimerização que podem quebrar a ligação éster do PET. Porém, os mais comuns são o metanol, o etilenoglicol e a água (Güçlü et al., 2003; Spinacé e De Paoli, 2005).

Nos processos de reciclagem química que possuem cartas de “não objecção” para contacto directo com alimentos, passadas pela *Food & Drug Administration* (FDA), as partículas sólidas de PET contactam com metanol ou etilenoglicol e os monómeros de etilenoglicol e de dimetiltereftalato ou do bis(hidroxietil)tereftalato são recuperados (Maia, 2004).

O processo de despolimerização baseado na hidrólise é complicado porque na presença de água é formada grande quantidade de ácido carbónico a partir do CO<sub>2</sub>. A separação do ácido carbónico e a possibilidade de corrosão causada por um sistema muito ácido são importantes factores a considerar (Brandrup et al., 1996; Mancini, 2002).

#### **3.2.2.1.1 Metanólise**

É o processo de despolimerização do PET por adição de metanol a altas temperaturas e pressões. Tipicamente, as condições de metanólise são pressões de 2-7 MPa e temperaturas de 160 – 240 °C (Spinacé e De Paoli, 2005).

Os produtos principais resultantes da metanólise do PET são etilenoglicol (EG) e dimetiltereftalato (DMT), que são matérias-primas usadas na produção do polímero (Genta et al., 2003). O MeOH é monofuncional, portanto tende a atacar as extremidades da cadeia polimérica de PET. A despolimerização iniciada nas extremidades da cadeia leva apenas a uma ligeira diminuição do IV (Maia, 2004).

Alguns grandes fabricantes de PET, nomeadamente a Hoechst, a KoSa e a Du Pont, utilizaram o processo de metanólise no tratamento de PET pós-consumo. Devido às condições de processo, recentemente muitas unidades de metanólise fecharam ou a sua escala foi reduzida por falta de eficiência do processo descontínuo (Genta et al., 2003).

#### **3.2.2.1.2 Glicólise**

No processo de glicólise o agente de despolimerização principal do PET é o etilenoglicol mas podem ser usados também o dietilenoglicol, o propilenoglicol, e o dipropilenoglicol (Deng et al., 2003).

O resultado primário da glicólise por EG é a formação de bis(hidroxietil)tereftalato (BHET) (Genta et al., 2003). O EG é um agente de despolimerização bifuncional, ou seja, tem tendência a atacar as ligações ésteres interiores. Este mecanismo permite que sejam

formadas directamente a partir de PET de elevado peso molecular unidades de oligómeros de baixo peso molecular, ou seja, o IV do material diminuirá consideravelmente (Patterson et al., 2006). O principal obstáculo deste processo é o equipamento. O elevado volume de desperdícios de PET exige processamento contínuo e o processo de despolimerização exige temperaturas e pressões relativamente elevadas. O polímero sólido tem que ser processado num reactor de altas pressões. O monómero produzido tem que ser separado de vários produtos orgânicos secundários e contaminantes (Maia, 2004).

### **3.2.2.2. Nova abordagem de quimólise do PET**

Os processos de despolimerização química de PET existentes não são vantajosos porque requerem vários passos de purificação, como sendo, a lavagem, destilação, cristalização e reacções químicas adicionais (Brownscome et al., 1996, Macromolecular Symposia, 1998, Sako et al, 2000). Assim, o custo efectivo dos monómeros reciclados aumenta drasticamente. Por outro lado, são processos descontínuos que requerem tempos de reacção longos a pressões elevadas para que a despolimerização ocorra. Tal obriga a um aumento do investimento para a instalação de uma unidade de reciclagem química. Por outro lado, a remoção dos monómeros e contaminantes orgânicos do polímero é difícil devido à elevada viscosidade e baixas taxas de difusão dentro do polímero (Maia, 2004).

Actualmente, o Instituto de Polímeros e Compósitos da Universidade do Minho em parceria com a *North Carolina State University* estão a desenvolver um projecto relacionado com um novo método de reciclagem química em contínuo usando CO<sub>2</sub> supercrítico. Este é um processo de despolimerização num só passo que permite recuperar monómeros e oligómeros puros para posterior re-polimerização. Este método surge como uma alternativa bastante interessante pois apresenta várias vantagens, nomeadamente (Patterson et al., 2006):

- 1) A eliminação do uso de solventes e de vários passos intermédios usualmente necessários para a separação dos monómeros e oligómeros dos contaminantes;
- 2) Taxas de despolimerização mais elevadas devido à grande área superficial e ao estado fundido e plasticizado do polímero;
- 3) Acoplamento da despolimerização e da extracção num só processo e;
- 4) Melhoria da separação e purificação usando CO<sub>2</sub> em vez de várias fases usando solventes.

### 3.2.2.2.1 Dióxido de carbono supercrítico (scCO<sub>2</sub>)

O primeiro relato da observação de uma fase supercrítica foi feito em 1822, pelo Barão Cagniard de la Tour, o qual notou que a separação de fases entre um gás e um líquido desaparecia quando certas substâncias eram aquecidas em recipientes fechados (Taylor, 1996). Um fluido supercrítico é qualquer substância a uma temperatura e pressão acima do seu ponto crítico de termodinâmica (Jardim et al, 2006), figura 3.6. Quando somente um valor crítico é atingido (temperatura ou pressão) o fluido é considerado em estado subcrítico (Camel, 1998).

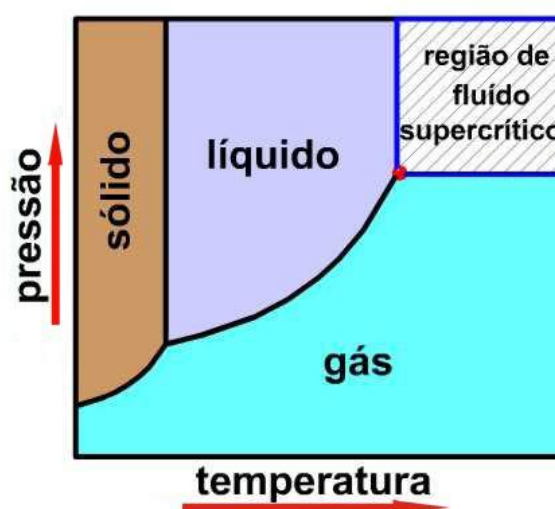


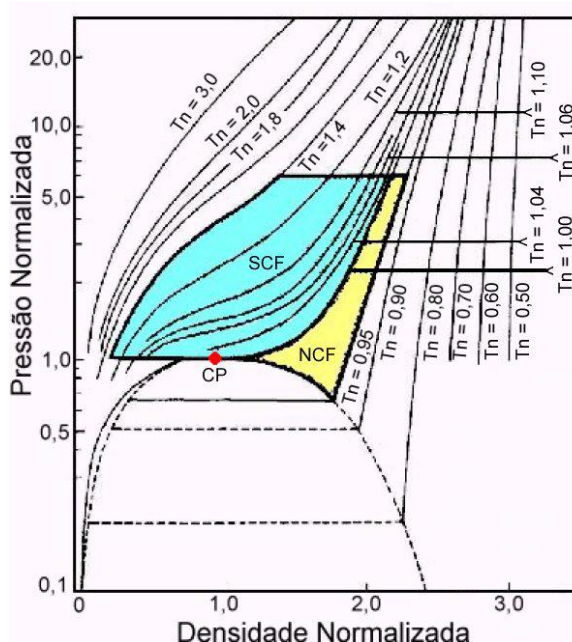
Figura 3.6: Diagrama de fases pressão-temperatura do CO<sub>2</sub> (Jardim et al., 2006)

O fluido supercrítico possui uma capacidade que é única, a difusão através de sólidos como se fosse um gás e a dissolução de materiais como se fosse um líquido (Silva et al., 1997). Além disso, a sua densidade pode alterar-se com pequenas variações de temperatura ou pressão (Brunner, 2010). Acima do ponto crítico, algumas propriedades da substância, como a densidade e a viscosidade, estão entre um gás e um líquido. O fluido adquire uma densidade similar à de um líquido (e portanto um poder de solvatação) e simultaneamente uma compressibilidade parecida com a de um gás (Jardim et al., 2006). No quadro 3.4 apresentam-se as propriedades físicas do fluido supercrítico e observa-se, comparando com as propriedades de líquidos e gases, que o fluido supercrítico apresenta alta densidade, baixa viscosidade e difusibilidade superior à da fase líquida, o que explica a grande e atractiva taxa de transferência de massas do fluido supercrítico (Taylor, 1996; Skoog e Leary, 1995; Socantaype, 1996).

	Densidade (g/mL)	Viscosidade dinâmica (g/cm.s)	Coefficiente de difusão (cm <sup>2</sup> .s)
Gás (ambiente)	0,0006 – 0,002	0,0001 – 0,003	0,1 – 0,4
Fluído supercrítico (T <sub>c</sub> , P <sub>c</sub> )	0,2 – 0,5	0,0001 – 0,0003	0,0007
Líquido (ambiente)	0,6 – 1,6	0,002 – 0,03	0,000002 – 0,00002

**Quadro 3.4: Ordens de magnitude de parâmetros físicos para gases, fluídos supercríticos e líquidos (Taylor, 1996)**

Uma das propriedades mais importantes de um fluído supercrítico, que está relacionada à sua alta densidade, é a sua capacidade de dissolver moléculas não voláteis de alta massa molar (Skoog e Leary, 1995). Outra importante característica do fluído supercrítico é que a sua densidade pode ser ajustada com precisão, variando os valores de temperatura e pressão (figura 3.7), enquanto a densidade de um líquido só é alterada pela adição de outros solventes ou com um grande aumento da temperatura (Jardim et al, 2006).



**Figura 3.7. Diagrama de correlação entre densidade, pressão e temperatura, SCF = região do fluído supercrítico, NCF = região próxima ao líquido crítico = região subcrítica, CP = ponto crítico (Jardim et al, 2006)**

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e a água (H<sub>2</sub>O) são os fluídos supercríticos mais comuns (Taberner et al., 2010; Jardim et al., 2006). O quadro 3.5 apresenta as propriedades

críticas para alguns componentes, que são normalmente utilizados como fluídos supercríticos (Reid et al., 1987).

Solvente	Peso molecular	Temperatura crítica	Pressão crítica	Densidade
	g/mol	K	MPa (atm)	g/cm <sup>3</sup>
Dióxido de carbono(CO <sub>2</sub> )	44.01	304.1 (31.1 °C)	7.38 (72.8)	0.469
Água (H <sub>2</sub> O)	18.02	647.3 (374.2 °C)	22.12 (218.3)	0.348
Metano (CH <sub>4</sub> )	16.04	190.4	4.60 (45.4)	0.162
Etano(C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	30.07	305.3 (32.2 °C)	4.87 (48.1)	0.203
Propano (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	44.09	369.8 (96.7 °C)	4.25 (41.9)	0.217
Etileno (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	28.05	282.4	5.04 (49.7)	0.215
Propileno (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> )	42.08	364.9	4.60 (45.4)	0.232
Metanol (CH <sub>3</sub> OH)	32.04	512.6	8.09 (79.8)	0.272
Etanol (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	46.07	513.9	6.14 (60.6)	0.276
Acetona (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O)	58.08	508.1	4.70 (46.4)	0.278

**Quadro 3.5: Propriedades críticas de vários compostos (Reid et al., 1987)**

Processos de extracção eficientes são um dos principais requisitos em muitos processos industriais (Chester et. al., 1998). Alguns dos processos de extracção usando fluidos supercríticos tais como o do descafeinado e alguns processos de polimerização e expansão (*foaming*) tornaram-se comerciais (Yeo e Kiran, 2005).

Nas últimas décadas, a extracção com fluídos supercrítico, especialmente o CO<sub>2</sub>, tem-se tornado uma alternativa cada vez mais atractiva face aos métodos de separação convencionais, com solventes orgânicos (Chester et al., 1998). Esta tendência é certamente devida principalmente às propriedades do CO<sub>2</sub>, tais como ausência de toxicidade, estabilidade química, baixo custo e o facto da solubilidade ser fortemente influenciada pela densidade, a qual pode ser regulada por alterações da pressão e temperatura (Margon et al., 2006).

Entre os vários compostos orgânicos e inorgânicos que têm sido processados com fluidos supercríticos, os polímeros têm tido um interesse especial e significativo. Uma grande variedade de polímeros têm sido explorados, incluindo poliolefinas, polímeros fluorados, poliamidas e biopolímeros (Yeo e Kiran, 2005).

O dióxido de carbono supercrítico (scCO<sub>2</sub>) penetra e pode fazer inchar e plasticizar polímeros amorfos, reduzindo a sua temperatura de transição vítrea, que é crucial para a impregnação e modificação de materiais poliméricos. O efeito plasticizador do CO<sub>2</sub> dá origem à redução das interacções intermoleculares resultando num aumento da mobilidade do polímero. Uma das diferenças entre os plasticizadores tradicionais e o CO<sub>2</sub> é que este em condições normais é um gás, e portanto é fácil de ser removido. O scCO<sub>2</sub> permite alterações no grau de plasticização e volume livre dos polímeros apenas alterando a densidade do CO<sub>2</sub> que se encontra em redor do polímero. Como o scCO<sub>2</sub> pode plasticizar polímeros amorfos, pode do mesmo modo afectar os polímeros semi-cristalinos plasticizando a sua fase amorfa. A plasticização da fase amorfa do polímero aumenta a mobilidade das cadeias poliméricas, a qual permite que as cadeias se reorganizem numa configuração mais ordenada resultando numa cristalização induzida e simultaneamente alterações na morfologia. Por exemplo, o CO<sub>2</sub> pode alterar o grau de cristalinidade no PET (Kazarian et al., 1999).

### **3.2.3 Reciclagem energética**

Os resíduos heterogéneos representam um problema para a indústria. A recuperação de energia oferece uma solução para tal problema empregando processos de combustão para produzir calor, vapor e/ou electricidade. Os resíduos de plásticos têm elevado poder calorífico quando comparados com outros materiais, devido a serem provenientes do petróleo, portanto são uma boa fonte energética (Al-Salem et. al., 2010). O valor calórico de 1 kg de plástico é equivalente ao de 1 kg de óleo combustível e maior que o do carvão (Spinacé e De Paoli, 2005). No caso do PET, o valor calorífico bruto é de 25 MJ/kg (IFEU, 2010). A produção de H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> por combustão torna os resíduos de plástico similares a outros combustíveis à base de petróleo. Em geral, considera-se que a incineração de resíduos de plástico resulta numa redução de volume de 90-99% (Al-Salem et al., 2010).

### **3.3 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL**

As Organizações geram impactes ambientais a vários níveis, incluindo os de âmbito local, regional, nacional e global, podendo afectar diversos componentes ambientais como o ar, água, solo, biodiversidade, paisagem, património e cultura (Dantes, 2010; Kraemer, 2004).

A avaliação do desempenho ambiental pode ser definida como a medição da interacção entre as empresas e o ambiente (Bennett e James, 1997; Wagner, 2005).

A crescente preocupação com a qualidade ambiental tem levado as indústrias a procurarem alternativas tecnológicas mais limpas e matérias-primas menos nocivas, a fim de reduzir o impacto e a degradação ambientais. A consciencialização da sociedade e a legislação ambiental têm induzido as empresas a uma relação mais sustentável com o meio ambiente. Não há mais lugar para a exacerbação do lucro obtido às custas do comprometimento do meio ambiente (Kraemer, 2004). Diante disso, a indústria tem sido forçada a investir em modificações de processo, aperfeiçoamento de mão-de-obra, substituição de materiais, redução da geração de resíduos e racionalização do consumo de recursos naturais (Tocchetto, 2010). Cada vez mais, a indústria em diferentes países está a incorporar os custos relacionados com a questão ambiental, implicando necessidades de mudanças significativas nos padrões de produção, comercialização e consumo (Campos e Melo, 2008). A procura de alternativas que minimizem os impactes ambientais negativos da actividade produtiva tem motivado o sector industrial a investir em soluções, que também se reflectem



em economia e melhoria da competitividade. A adopção de estratégias de prevenção apresenta-se como a alternativa mais adequada, porém importantes padrões, modelos de comportamento, crenças e práticas institucionalizadas devem ser modificados (Tocchetto, 2010). A mudança de paradigma foi acompanhada por um esforço considerável da indústria para participar na definição de estratégias de negócios sustentáveis (Azapagic e Perdan, 2000).

No caminho para a sustentabilidade, cada sector deve assumir a sua responsabilidade na construção de um novo modelo de crescimento. Os Sistemas de Gestão Ambiental são bons exemplos da incorporação da questão ambiental na cultura das organizações (Rodrigues e Thiago, 2008). A avaliação do desempenho ambiental torna-se cada vez mais valiosa e importante, pois fornece bases para a formulação de políticas, planos e projectos que permitem a gestão dos riscos e impactes das actividades produtivas aumentando a ecoeficiência da organização. O diagnóstico da situação ambiental consiste numa análise profunda de todos os impactes dos processos, serviços e produtos (Tocchetto, 2010).

Rikhardsson (1996), descobriu que o desempenho ambiental deve ser medido em cinco dimensões, a saber: (i) focagem na eficiência e eficácia ambiental dos processos de produção, (ii) medição dos aspectos ambientais do produto e dos serviços, (iii) abordagem das questões ambientais a partir da Administração da Organização, incluindo a implementação da política ambiental e o Sistema de Gestão Ambiental, (iv) cobrir o impacto ambiental das operações de uma Organização, bem como a utilização dos seus produtos e (v) a definição e atribuição dos custos ambientais, investimentos e passivos vinculando o desempenho ambiental ao desempenho financeiro.

A ISO 14031 é uma norma cujo objectivo é definir um processo de Avaliação do Desempenho Ambiental das Organizações.

### **3.3.1. Indicadores para a Avaliação do Desempenho Ambiental**

Os indicadores de desempenho ambiental (EPI) medem o desempenho ambiental presente ou passado de uma Organização e comparam os resultados com os objectivos estipulados pela gestão da Organização (Hermann et al, 2007). Os indicadores ambientais podem servir para evidenciar os progressos realizados, visando dissociar as actividades económicas das pressões ambientais correspondentes (Kraemer, 2004).

Os IDA são utilizados pelas Organizações como um meio de apresentar dados quantitativos ou qualitativos, ou informações, de uma forma mais compreensível e útil (Norma NP EN ISO 14031:2005). Aqueles, sintetizam os dados ou informações que permitem a determinação da eficiência e eficácia da empresa, de um ponto de vista ambiental, na utilização dos recursos disponíveis. São informações simples e instrumentos orientadores para o objectivo de melhoria contínua, pois permitem aumentar a clareza, transparência e comparabilidade da informação fornecida pela Organização (Kraemer, 2004). Os IDA são úteis para orientar, gerir e comunicar o desempenho ambiental.

Um melhor conhecimento dos impactes ocasionados pelas actividades produtivas possibilita uma selecção mais adequada de indicadores que podem ser utilizados para o processo de melhoria contínua associado ao Sistema de Gestão Ambiental (SGA). A dificuldade de identificação e cálculo desses indicadores é um dos principais problemas das organizações industriais. A escolha errada de indicadores irá reflectir-se de igual forma na avaliação do desempenho ambiental das empresas, trazendo como potenciais consequências: adopção de medidas inúteis, implantação desnecessária de equipamentos e/ou outras intervenções inadequadas para um bom sistema de gestão (Tocchetto, 2010). Se forem monitorizados poucos indicadores, podem escapar alguns dados cruciais para a Organização. Porém, se um grande número de indicadores é seguido, a obtenção e a análise de dados pode tornar-se proibitivamente cara e demorada. Obviamente, não podem existir indicadores para tudo. É fundamental definir um conjunto de indicadores representativos que forneçam uma descrição compreensível dos processos. Este conjunto deverá incluir apenas os indicadores-chave (*key indicators*). Estes englobam indicadores que são importantes para a política da Organização e que podem ser calculados sem incorrer em custos desproporcionados (Coral, 2002; Rodrigues e Thiago, 2008). A tendência actual é o desenvolvimento de indicadores simples e informativos, e impedir abordagens muito complicadas, quer porque incluem um grande número de sub-indicadores, ou porque são difíceis de quantificar ou entender. Indicadores complexos são difíceis de implementar na prática e, consequentemente, não orientam o processo decisório de forma eficiente. A necessidade de indicadores simples é ainda maior no caso de indústrias grandes e complexas (Azapagic e Perdan, 2000).

Os pontos fortes dos indicadores de desempenho ambiental (IDA) são a quantificação dos riscos e tendências e a análise comparativa (*benchmarking*) com outras Organizações. Quando os indicadores são acompanhados e medidos regularmente, servem como um sistema de alerta precoce. A comparação dos indicadores de desempenho ambiental dentro

de uma empresa ou externamente com outras empresas ou concorrentes oferece opções para identificar potenciais de melhoria (Jasch, 2009).

A informação transmitida pelos indicadores para a Avaliação do Desempenho Ambiental, pode ser expressa em (Norma NP EN ISO 14031:2005; Schaltegger e Wagner, 2005):

- Medições directas ou dados absolutos;
- Medições ou dados relativos;
- Informação indexada ou tendências.

Os indicadores para a Avaliação do Desempenho Ambiental poderão ser agregados ou ponderados, conforme apropriado à natureza da informação e respectiva utilização pretendida (Norma NP EN ISO 14031:2005; Schaltegger e Wagner, 2005).




**Medições directas ou dados absolutos** – são dados ou informação de base, por exemplo, a quantidade de poluentes emitidos, expressa em toneladas (Norma NP EN ISO 14031:2005), ver quadro 3.6. Os indicadores expressos por medições directas são o reflexo global dos impactes ambientais, descrevem o grau de contaminação ambiental (Kraemer, 2004).

**Medições ou dados relativos** - comparam os dados com outros parâmetros, por exemplo quantidade, em toneladas, de poluentes emitidos, por quantidade, em toneladas, de produto fabricado, ou quantidade, em toneladas, de poluentes emitidos, por unidade de vendas (Norma NP EN ISO 14031:2005), ver quadro 3.6. Os indicadores expressos em medições relativas demonstram o comportamento ambiental de uma empresa em relação à sua dimensão ou capacidade de produção e, se as medidas ambientais dão lugar a melhorias da eficiência (Kraemer, 2004).

**Informação indexada ou tendências** - descreve dados ou informação convertidos a unidades ou a uma forma que relacione a informação com uma determinada referência ou unidade de base, tais como emissões poluentes no ano corrente expressas como percentagem daquelas emissões relativas a um ano de referência (Norma NP EN ISO 14031:2005), ver exemplos no quadro 3.6.

**Indicadores agregados** - descrevem dados ou informação do mesmo tipo, mas provenientes de diferentes fontes, coligidos e expressos como um valor combinado, tal como quantidades totais de poluentes emitidos, em toneladas, pela produção de um produto num dado ano, determinado pela soma das emissões das múltiplas instalações que produzem aquele produto (Norma NP EN ISO 14031:2005).

**Indicadores ponderados** - descrevem dados ou informação, modificados pela aplicação de um factor relacionado com a sua significância (Norma NP EN ISO 14031:2005).

Impacte ambiental	Dados absolutos	Dados relativos	Tendências
<b>Gases de efeito estufa</b> 	Emissões anuais de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Emissões de CO <sub>2</sub> por funcionário, por unidade de saída, etc.	Emissões totais de CO <sub>2</sub> ou emissões por funcionários comparados com anos anteriores
<b>Consumo de água</b> 	Consumo total anual de água	Consumo de água por funcionário, por unidade de saída, etc.	Consumo total ou consumo por funcionário comparado com anos anteriores
<b>Resíduos</b> 	Total anual de resíduos, em toneladas	Produção de resíduos por funcionário, por unidade de saída, etc.	Total de resíduos ou resíduos por funcionário comparado com anos anteriores

**Quadro 3.6: Indicadores relevantes para todas as Organizações (Dantes, 2010)**

### 3.3.2 Categorias de indicadores para a Avaliação do Desempenho Ambiental

Os Indicadores Ambientais são definidos em duas categorias (Kraemer, 2004; Rodrigues e Thiago, 2008; Campos e Melo, 2008):

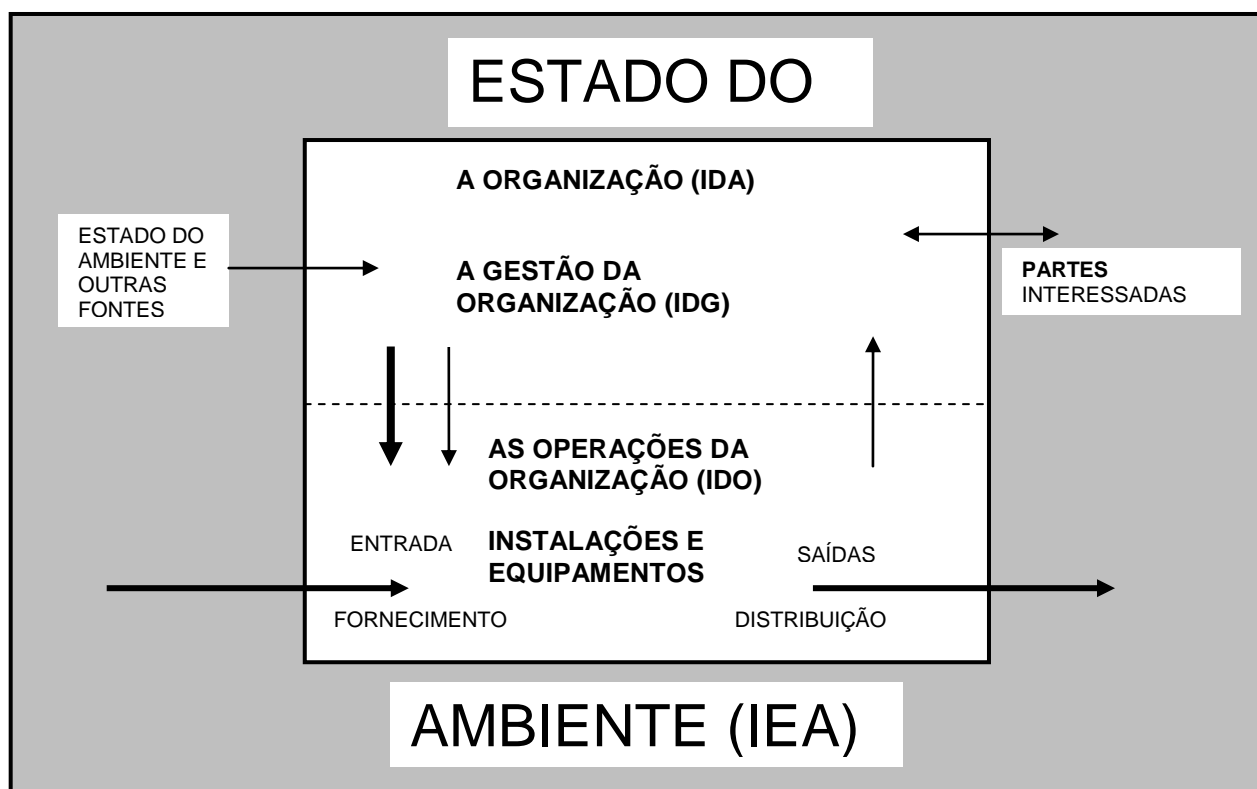
- Indicadores de desempenho ambiental (IDA);
- Indicadores de estado do ambiente (IEA).

Os Indicadores de desempenho ambiental (IDA) subdividem-se em (Campos e Melo, 2008):

- Indicadores de desempenho de gestão (IDG), que fornecem informação sobre os esforços da Gestão para influenciar o desempenho ambiental das operações da Organização;
- Indicadores de desempenho operacional (IDO), que fornecem informação sobre o desempenho ambiental das operações da Organização.

Os Indicadores de estado do ambiente (IEA) fornecem informação sobre o estado do ambiente. Esta informação pode auxiliar uma Organização a compreender melhor os impactes, reais ou potenciais, dos seus aspectos ambientais e assim auxiliar o planeamento

e a implementação da Avaliação do Desempenho Ambiental (Norma NP EN ISO 14031:2005; Kraemer, 2004). A figura 3.8 ilustra o modo como a Organização se relaciona com o estado do ambiente.

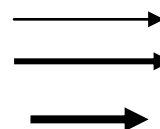


#### Legenda

Fluxos de informação

Fluxos de entrada e saída relacionados com as operações da Organização

Fluxos de decisão



**Figura 3.8: Inter-relações da gestão e operações da Organização com o estado do ambiente (NP EN ISO 14031:2005)**

#### 3.3.2.1 Indicadores de desempenho de gestão (IDG) sob o ponto de vista financeiro

Entre os vários IDG possíveis, os de desempenho financeiro são normalmente seleccionados para medir os esforços da Gestão da Organização. Estes indicadores avaliam a relação do desempenho ambiental com o desempenho financeiro (norma NP EN ISO 14031:2005).

De acordo com os resultados da UNCTAD/ISAR – *United Nations Conference on Trade and Development/Initiative for Social Action Renewal*, os indicadores financeiros relevantes, actualmente praticados são (Kraemer, 2004):

- investimento relacionado com o ambiente;
- custos operacionais e administrativos associados aos aspectos ambientais dos produtos ou processos;
- valor das vendas emergentes de um novo produto ou subproduto concebido no sentido de alcançar objectivos de desempenho ambiental ou de concepção;
- custos totais de conformidade com a regulamentação;
- multas e penalidades, custos com recuperação e danos;
- custos de gestão dos resíduos;
- custos evitados/benefício de medidas de prevenção da poluição, redução de meios ou reciclagem de resíduos;
- prémios de seguros como medida da eficácia da actividade de gestão de risco;
- redução de emissão / despesa;
- investimento ambiental/investimento total;
- custo de energia ou consumo de combustível ou custo de embalagem;
- doações e outros custos ambientais.

### **3.3.2.2 Indicadores de desempenho de gestão (IDG) nas relações com a comunidade**

Os indicadores relacionados com o envolvimento em projectos comunitários destinam-se a mostrar o nível de parceria que a Organização desenvolve com a comunidade em que actua. A parceria com a comunidade local é complementar à inclusão das partes interessadas, reflecte as responsabilidades de uma empresa para com as comunidades em que opera e indica a conciliação das necessidades da Organização com as da comunidade (Azapagic e Perdan, 2000). As empresas que informam a sua situação ambiental e a discutem com grupos de interesses externos não melhoram necessariamente o seu comportamento ambiental. Contudo, as medidas de comunicação ambiental podem melhorar a compreensão da percepção que o público tem de questões ambientais. Indicadores para tais actividades podem ser, por exemplo, o número de prémios ambientais recebidos como reconhecimento externo do compromisso da empresa com o meio ambiente, o gasto anual com patrocínio ambiental, o número de conferências informativas ambientais que se celebram a nível local (Kraemer, 2004).

### **3.3.2.3 Indicadores de desempenho operacional (IDO)**

Os indicadores de desempenho operacional (IDO) deverão fornecer à Gestão informação sobre o desempenho ambiental das operações da Organização (NP EN ISO 14031:2005; Jasch, 2000). Estes indicadores permitem avaliar os aspectos ambientais de uma Organização e controlar os seus impactes ambientais (Jasch, 2000). Estes indicadores podem obter-se a partir de dados de toda a empresa, de projectos ou centros individuais de trabalho e de departamentos ou processos específicos. Os indicadores determinados em nível mais baixo na organização (processo ou departamento) são apropriados como instrumentos de planeamento, controlo e monitorização para o processo/departamento em questão. A fim de detectar pontos fracos e iniciar rapidamente acções correctivas, é aconselhável determiná-los a intervalos mais curtos, por exemplo, trimestralmente, mensalmente ou semanalmente. Determinar os indicadores de processo é especialmente importante para o seguimento do principal foco de consumo de recursos. Os indicadores a partir de dados de toda a empresa, por outro lado, servem como uma ferramenta de informação do comportamento geral para a gestão ambiental durante um período de tempo mais longo, por exemplo, na informação anual para a Direcção Executiva (Kraemer, 2004).

As operações de uma Organização poderão ser agrupadas com base nas entradas e saídas. As operações da Organização incluem também as instalações e equipamentos da mesma, bem como os respectivos fornecimentos e distribuição (figura 3.9). As entradas permitem observar o fluxo de materiais importantes dentro de uma empresa. (NP EN ISO 14031:2005; Jasch, 2000).

Nas entradas incluem-se:

- materiais (matérias-primas, reciclados, recursos naturais);
- energia;
- serviços;

As saídas contemplam (NP EN ISO 14031:2005; Jasch, 2000):

- produtos (produtos principais, subprodutos, materiais reciclados);
- serviços;
- resíduos (sólidos, líquidos, perigosos, não perigosos, recicláveis, reutilizáveis);
- emissões (emissões gasosas, efluentes para a água ou para o solo, ruído, vibrações, calor, radiações, luminosidade).



**Figura 3.9: Operações de uma Organização (esquema geral), (NP EN ISO 14031:2005)**

As operações de uma Organização podem ser monitorizadas em relação ao seu comportamento ambiental com base na utilização de certos IDO, nomeadamente (NP EN ISO 14031:2005; Jasch, 2000; Kraemer, 2004; Tam et al, 2006):

**Materiais** - Estes indicadores ambientais ajudam a controlar a substituição de materiais problemáticos por alternativas mais seguras para o meio ambiente, tais como matérias-primas renováveis, embalagens reutilizáveis e matérias-primas recicláveis. Como exemplos destes IDO pode-se referir a quantidade de materiais utilizados por unidade de produto, quantidade utilizada de materiais processados, reciclados ou reutilizados, quantidade de materiais de embalagem descartado ou reutilizado por unidade de produto, quantidade de matérias perigosas utilizadas no processo produtivo.

A água é um indicador englobado nos materiais. O indicador do consumo total de água determina-se para todos os tipos de água e todos os pontos de consumo de água. Pode fazer-se uma distinção entre água potável e água bruta (água superficial, do rio ou da chuva). O consumo específico de água indica o consumo de água em volume, metros cúbicos (m<sup>3</sup>), por unidade produzida (artigo, lote, quantidade em quilogramas ou em toneladas), e por conseguinte, considera as variações do volume de produção. Como exemplo destes indicadores temos a quantidade de água por unidade de produto e a quantidade de água reutilizada.

**Energia** - Estes indicadores proporcionam a informação necessária para ilustrar a importância para uma empresa de fontes de energia baixas em emissões, como o gás natural ou as fontes de energia renováveis. Para os processos de produção que requerem maior quantidade de energia, serve de ajuda determinar indicadores de energia relativos ao processo para observar a eficiência. Exemplos destes IDO são a quantidade de energia utilizada por ano ou por unidade de produto, a quantidade de cada tipo de energia utilizada,



a quantidade de energia gerada com subprodutos, a quantidade de unidades de energia poupadas devido a programas de conservação da energia.

**Fornecimento** - Nestes indicadores incluem-se as compras de materiais ou serviços. Em muitos sectores, os esforços de gestão ambiental de um fornecedor tem uma importante influência no próprio comportamento ambiental de uma empresa. Um exemplo de indicador que oferece informação sobre a categoria de compras é o número ou proporção de fornecedores que têm implementado políticas ambientais. Outros indicadores de compras referem-se ao número ou proporção de fornecedores que têm um sistema de gestão ambiental de acordo com a ISO 14001. A proporção de fornecedores pode ser em relação ao número de fornecedores ou ao volume comprado.

**Produtos** - Os indicadores de produtos medem as melhorias do impacto ambiental individual de produtos ou da gama completa de produtos. Também indicam vantagens relativas em comparação com outros produtos e/ou concorrentes. Estes indicadores podem referir-se aos seguintes aspectos do produto: possibilidade de reciclagem, etiquetas ambientais recebidas, forma de eliminação mais segura para o meio ambiente, uso de matérias-primas renováveis, fabricação eficiente face aos recursos e produção e utilização baixas em emissões.

**Resíduos** - Os indicadores de resíduos são de grande importância para a gestão ambiental. Os resíduos podem ser destinados à valorização ou à eliminação. Dentro do grupo dos resíduos a valorizar-se encontram-se os recicláveis. A proporção de resíduos recicláveis (taxa de reciclagem), em percentagem, obtém-se ao relacionar o material reciclado com a quantidade total de resíduos. A percentagem de resíduos que se destina à eliminação, em relação à quantidade de resíduos indica a taxa de eliminação. Exemplos destes IDO são a quantidade de resíduos por ano ou por unidade de produto, quantidade de resíduos perigosos, recicláveis ou reutilizáveis produzidos por ano e total de resíduos para destino final.

**Emissões** - As emissões atmosféricas têm uma especial importância devido a seus diversos impactos ambientais (por exemplo a contaminação dos solos e da atmosfera). Devido à variedade de emissão na atmosfera, os indicadores deveriam limitar-se às substâncias mais relevantes. Entre eles se incluem: óxidos de azoto, dióxido de carbono, dióxido de enxofre, partículas e compostos orgânicos voláteis. Exemplos destes IDO são a quantidade de emissões específicas por ano e por unidade de produto, a quantidade de energia libertada para a atmosfera, a quantidade de emissões para a atmosfera com potencial de causar alterações climáticas globais, a quantidade de determinada substância descarregada na

água por unidade de produto, a quantidade de resíduos enviados para aterro por unidade de produto, a quantidade de energia libertada para a água, a quantidade de radiações libertadas, a medição do ruído em determinados locais, a quantidade de calor, vibração ou luz emitidos.

**Distribuição** - A importância do transporte na protecção ambiental tem aumentado muito. Entre os problemas inclui-se não só a redução dos impactes ambientais, tais como contaminação do ar, consumo de energia e ruído, mas também assegurar uma logística de transporte segura. Estes indicadores visam a optimização da logística e dos custos de transporte e a monitorização dos impactes ambientais locais. Pode fazer-se uma distinção entre os transportes de passageiros e de mercadorias, enquanto as empresas fabricantes deveriam centrar-se em transporte de mercadorias quando estabelecem os seus indicadores, o transporte de passageiros e as deslocações por negócios são mais importantes para as empresas de serviços. Os indicadores de transportes são especialmente importantes para as empresas transportadoras, visto que a sua área de negócio principal consiste na distribuição de mercadorias ou pessoas.

**Instalações e equipamentos** - Os indicadores de instalações e equipamentos referem-se aos impactes ambientais causados, por exemplo pelos equipamentos de fabricação.

O uso do espaço pode servir como indicador. Começando com a superfície total da empresa, as zonas podem dividir-se em zonas vedadas e zonas verdes (zona que permite a drenagem da água da chuva) e ilustrar-se cada uma das áreas, em termos absolutos (por exemplo em área, m<sup>2</sup>) ou em unidades relativas (por exemplo em percentagem, %), em relação à superfície total.

### 3.3.3 Contabilidade Ambiental

A determinação dos custos ambientais facilita a integração dos aspectos ambientais nas estruturas de decisão da Organização. Os indicadores de custos ambientais podem servir como ferramentas de motivação e incentivo para uma protecção ambiental eficiente. Como tal, é importante não representar a protecção ambiental como algo que acarreta custos e supõe uma desvantagem para a Organização, mas sim representar como uma oportunidade. Porém, devem descrever-se com detalhe as áreas nas quais as medidas ambientais preventivas ou as soluções implementadas reduzem custos (Kraemer, 2004).

Descobrir e reconhecer os custos ambientais associados a um produto, a um processo, um sistema ou uma empresa é importante para as decisões de uma boa gestão. Atingir metas tais como a redução de despesas ambientais, o aumento das receitas e a melhoria do desempenho ambiental requer atenção tanto aos custos ambientais actuais, como aos futuros e ainda aos potenciais (EPA, 1995).

Em teoria, tanto os indicadores de desempenho ambiental (IDA) como a medição do desempenho ambiental podem estar suportados pela contabilidade ambiental, a qual pode ser usada nos contextos da contabilidade financeira ou de gestão. No primeiro caso, visa um público externo e destina-se à estimativa e comunicação pública dos passivos ambientais e custos ambientais (Schaltegger e Burritt, 2000). No contexto da contabilidade de gestão, a qual utiliza uma ampla gama de custos e dados de desempenho para as decisões internas, a contabilidade ambiental incorpora uma série de ferramentas, como o eco-controlo, a contabilidade ecológica, avaliação do ciclo de vida (LCA) e indicadores de desenvolvimento sustentável usados no contexto interno de uma Organização (Young e Rikhardsson, 1996; Young e Welford, 1998).

O objectivo da contabilidade ambiental é fornecer ferramentas para integrar os aspectos ambientais na repartição dos custos, no orçamento e no desenho ou definição de produtos e processos (EPA, 1995).

### **3.4 FERRAMENTA DE GESTÃO E OPTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS COMPLEXOS - UMBERTO®**

UMBERTO® é um software de gestão ambiental e análise de fluxos de materiais e energia, ou seja, uma ferramenta para modelar, calcular e visualizar sistemas de fluxos. Com as especificações dos processos, o software UMBERTO® permite calcular todos os fluxos de materiais e energia do sistema.

Este software é utilizado para analisar sistemas de processos quer seja numa empresa, fábrica, em linhas de produção ou ciclo de vida de produtos. Os resultados podem ser avaliados usando indicadores de desempenho económicos e ambientais.

Os principais objectivos da utilização do UMBERTO® nas empresas são a detecção de pontos cruciais (*hotspots*) para optimização dos processos no sistema de produção, a redução dos recursos de materiais e energia e a minimização das quantidades de emissões poluentes e, como consequência a redução de custos.

Para o planeamento de medidas e para apoiar a tomada de decisões o UMBERTO® oferece a tecnologia de comparação de cenários, com a qual várias alternativas de optimização podem ser avaliadas facilmente.

O software UMBERTO® pode ser aplicado como suporte para o sistema de gestão ambiental (SGA). Esta aplicação permite recolher e gerir com transparência todos os dados necessários para determinar balanços ecológicos, declarações exigidas pela lei e relatórios ambientais.

Os resultados do cálculo (*inventory*) podem ser apresentados de diversos modos, incluindo tabelas ou gráficos para facilitar a análise. Estes servem também de base para avaliações do impacte ambiental (*impact assessment*). Utilizando indicadores-chave, a Administração da empresa obtém informações periódicas sobre o desenvolvimento em áreas sensíveis e sobre o desempenho ambiental.

Todos os fluxos de materiais e energia nos sistemas analisados com o UMBERTO® e todos os processos do sistema de produção podem ser ligados à contabilidade de gestão, nomeadamente ao apuramento de custos. O UMBERTO® dispõe de um componente de contabilidade analítica integrada, que permite calcular os encargos directos e indirectos. Os gastos são apresentados em função dos tipos de custos por cada produto ou serviço fornecido pelo sistema. Assim, uma medida planeada é alvo não só de uma avaliação ambiental mas também económica. Isto permite ao gestor calcular a amortização do investimento e tomar decisões baseadas em dados confiáveis (UMBERTO, 2007; Ceifa 2007).

### **3.5 ESTUDO CIENTÍFICO SEMELHANTE AO PRESENTE ESTUDO - *THE PLASTICS DIVISION OF THE AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL***

O relatório "*Life cycle inventory of 100% postconsumer HDPE and PET recycled resin from postconsumer containers and packaging*" foi preparado para *The Plastics Division of the American Chemistry Council, Inc.* pela *Franklin Associates, a division of Eastern Research Group (ERG), Prairie Village, Kansas*, em 7 de Abril de 2010. Este relatório apresenta um estudo baseado no inventário do ciclo de vida (LCI) da produção de reciclado de PET e PEAD a partir de material pós-consumo, no qual quantifica as necessidades totais de

energia, as fontes de energia, os poluentes atmosféricos, os poluentes aquáticos e os resíduos sólidos resultantes.

Tal como o documento refere, a *Franklin Associates* desenvolveu uma metodologia de elaboração de análises de perfis ambientais e de recursos (REPA), agora conhecida como inventário de ciclo de vida (LCI). Esta metodologia tem sido documentada para a agência norte-americana de protecção ambiental, *United States Environmental Protection Agency* (EPA) e está inserida no relatório da EPA denominado “*Product Life-Cycle Assessment Inventory Guidelines and Principles*”. Os dados apresentados neste relatório foram trabalhados com base nesta metodologia, que está em uso a mais de 30 anos. Os seus elementos-chave incluem os limites de estudo, o inventário dos recursos (matérias-primas e energia), inventário de emissões (atmosférica, aquática, e resíduos sólidos) e as práticas de eliminação. Esta abordagem de LCI é baseada numa construção em blocos que juntos dão origem a um inventário de emissões e de recursos para o ciclo de vida completo de um produto. Usando esta abordagem, cada processo individual incluído no estudo é analisado como um sistema fechado, ou "caixa negra", para o qual é efectuada a total contabilização de todas as **entradas** e **saídas** de recursos associados com esse processo particular. As entradas incluídas no LCI são as matérias-primas e a energia, enquanto que as saídas incluem os produtos fabricados e as emissões ambientais para o solo, atmosfera e para a água.

No estudo que deu origem a este relatório, os dados relativos à classificação e separação de materiais pós-consumo foram recolhidos a partir de instalações de triagem de materiais. Os dados sobre o tratamento do plástico pós-consumo transformando-o em resina reciclada limpa foram recolhidos a partir de empresas de reciclagem de PET e de PEAD.

A *Franklin Associates* tem o cuidado de proteger os dados que são considerados confidenciais pelas empresas, como tal o estudo apresenta apenas as médias ponderadas dos dados, para cada tipo de instalação. No caso do PET os dados da reciclagem foram obtidos a partir dos valores médios ponderados referentes a quatro empresas americanas.

Nesta análise, as etapas para a produção de resina a partir do material pós-consumo foram divididas em três fases principais:

- (1) Recuperação: Recolha de plástico pós-consumo;
- (2) Selecção e separação: Triagem dos materiais plásticos;

(3) Operações de recuperação: processamento do plástico pós-consumo, por empresas de reciclagem, para converter o material recebido em resina limpa pronta para ser transformada num outro produto.

Para comparação deste estudo norte-americano com o estudo objecto desta dissertação apenas são relevantes os dados da etapa (3). No quadro 3.7 apresentam-se os dados de interesse para efectuar a referida comparação partindo das necessidades de materiais e energia para produzir 1.000 lb (454 kg) de escama (*flake*) de PET proveniente de material pós-consumo.

Com base em dados obtidos através de inquéritos aos recicladores sabe-se que a energia adicional necessária para converter 1000 lb de escama de PET (*flakes*) em grânulos (*pellets*) é de 218 kWh. Estes dados de reciclagem de PET não incluem o processo de policondensação em estado sólido, SSP (*solid state polycondensation*), necessário para converter a resina amorfa em cristalina, de modo a poder fabricar-se novas garrafas.

Factores de conversão:

1 lb = 0,4535927 kg (convertworld.com)

<b>Matérias primas</b>	<b>Quantidades e unidades no sistema americano</b>	<b>Quantidades e unidades no sistema internacional</b>
PET pós-consumo (entrada)	1.250 lb	567 kg
<b>Energia do processo</b>		
Electricidade	208 kwh	748,8 MJ
Gás natural	1.207 cu ft	34,18 l
LPG	0,031 gal	0,117 l
Propano	0,0053 gal	0,02006 l
Consumo de água	47,3 gal	179 l
<b>Emissões atmosféricas</b>		
Partículas	0,039 lb	0,018 kg
Voláteis	0,037 lb	0,014 kg
Resíduos sólidos para aterro	220 lb	82 kg
<b>Emissões para o meio aquático</b>		
BOD	7,26 lb	2,7 kg
COD	20,2 lb	7,5 kg
Sólidos em suspensão	2,98 lb	1,1 kg

**Quadro 3.7:** Dados extraídos do quadro 2.9 do relatório *Life cycle inventory of 100% postconsumer HDPE and PET recycled resin from postconsumer containers and packaging* (Franklin Associates, 2010).

### 3.6 SÍNTESE DA REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura apresentada neste capítulo pretende evidenciar a linha teórica em que o trabalho se insere, contextualizando-o. Incidiu sobre todos os temas relevantes para o trabalho, nomeadamente, o material objecto do estudo, o PET, a reciclagem e seus vários tipos, a avaliação do desempenho ambiental, o software utilizado para estudar o tema e os estudos científicos similares a esta dissertação.

A revisão efectuada ao PET teve como propósito obter uma ampla visão deste material polimérico tão enraizado nos sectores económicos globais. A pesquisa direccionou-se para a obtenção do máximo de informação possível sobre este polímero, não se pretendendo efectuar comparações com outros materiais uma vez que o PET tem o seu lugar bem definido no mercado ao ponto de ser já considerado *commodity* (Gorni, 2004).

Embora esta dissertação esteja focada na reciclagem mecânica, foram revistas as outras formas de reciclagem existentes bem como as emergentes. Aqui, o objectivo centrou-se na exploração dos métodos alternativos de modo a tornar possível uma reflexão sobre a reciclagem mecânica conducente a um juízo crítico deste processo.

Embora o intuito deste trabalho não seja efectuar a avaliação do desempenho ambiental da empresa, a inclusão da revisão desta temática justificou-se na medida em que o trabalho prático recaiu sobre alguns aspectos ambientais da empresa, que tal como a Norma ISO 14001 define são elementos das actividades, serviços ou produtos da organização que podem interagir com o ambiente. Surgiu então a necessidade de enquadrar a parte prática do trabalho no estado actual do conhecimento sobre o tema.

A opção pelo software UMBERTO<sup>®</sup> para análise do processo de reciclagem mecânica português prendeu-se com o finalidade de balizar o estudo nas etapas da reciclagem que ocorrem sob responsabilidade desta empresa enquanto operador económico envolvido no ciclo de vida das garrafas de PET, excluindo as etapas a montante e a jusante. Pretendia-se também demonstrar que existem métodos expeditos para analisar os aspectos ambientais das empresas sem recurso a inventários completos de ciclo de vida, os quais são balanços de massa e de energia de um determinado produto ou serviço, identificando os seus impactes ambientais desde a fase de extracção das matérias-primas, passando pela fase de produção, distribuição, consumo, uso, e até à sua transformação em resíduo, ou seja, uma análise “do berço à cova” considerando-se o posterior aproveitamento do resíduo (Vigon et al, 1993; Norma ISO 14040; Commoner, 1997).



## CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA

### 4. 1. CONCEPÇÃO DO PROJECTO E SELECÇÃO DA AMOSTRA

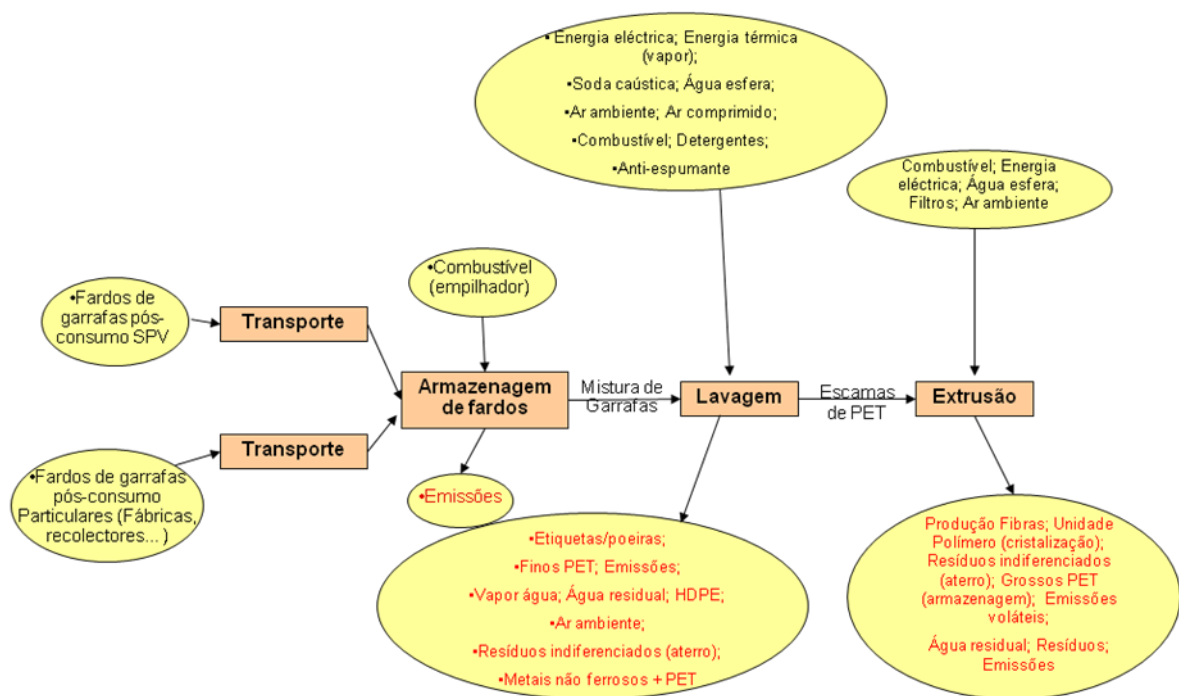
A primeira fase do projecto consistiu na percepção do processo de reciclagem mecânica existente em Portugal. Para tal foi necessário acompanhar todo o processo produtivo e estudar a documentação fornecida pela empresa.

Devido ao facto de existirem dois tipos de fluxos diferentes, nomeadamente, o das garrafas de cor e o das garrafas transparentes (*clear* e *light blue*), estabeleceu-se que seriam efectuadas duas representações em separado, no software UMBERTO®. Porém, o enfoque do trabalho seria o fluxo das garrafas transparentes visto serem essas as que podem ser usadas para fabricar outras garrafas ou filmes/chapas para o mercado das embalagens.

O processo foi representado esquematicamente em forma de fluxograma, com quatro níveis de detalhe, sendo este posteriormente utilizado como conceptualização do modelo construído no software UMBERTO®. A figura 4.1 ilustra o fluxograma principal ou macro-processo, relativo ao 1º nível de rede. A partir deste foi-se detalhando progressivamente o processo de reciclagem mecânica em micro-processos, processos e sub-processos. O nível de detalhe alcançado foi o permitido pelos dados existentes na empresa.

No fluxograma principal, apresentado na fig. 4.1, foi representado o fluxo do material objecto deste estudo, garrafas de PET, e todas as **entradas** (apresentadas a negro) e **saídas** (apresentadas a vermelho) das várias etapas do processo. O fluxograma principal e os demais fluxogramas detalhados encontram-se no anexo I.

.



**Figura 4.1: Fluxograma do processo de reciclagem mecânica, 1º nível de rede**

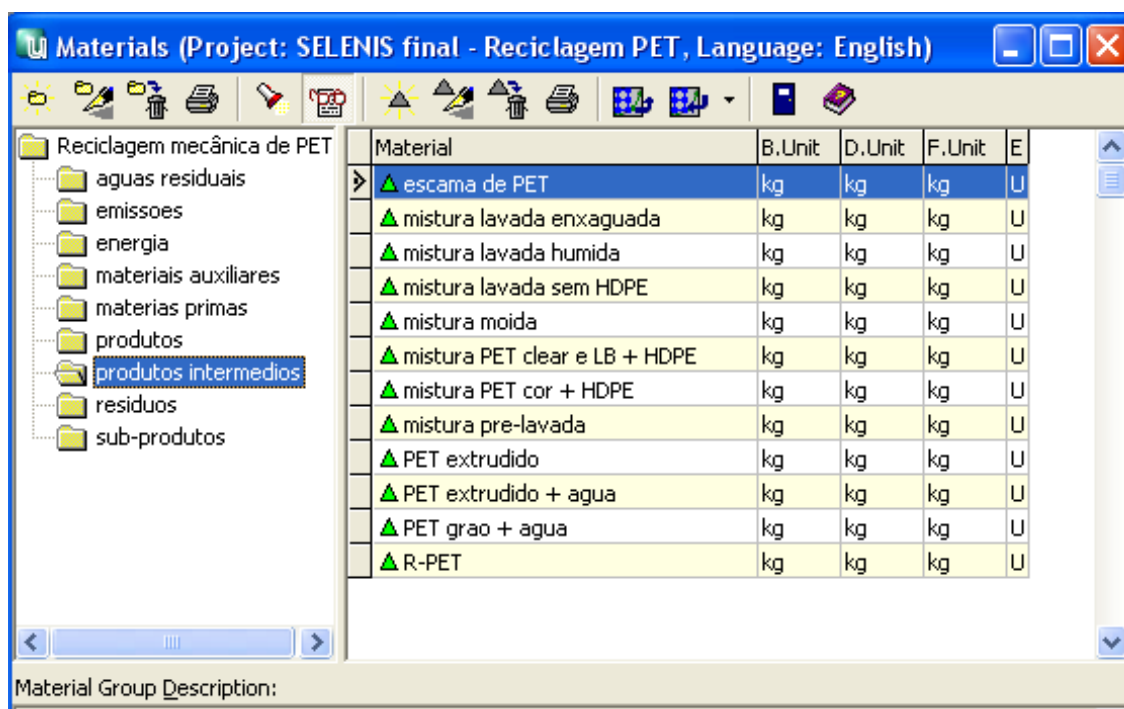
Com base nos fluxogramas desenhados e nas **entradas** e **saídas** existentes foram elaborados os levantamentos qualitativo e quantitativo dos dados do processo. Definiram-se os parâmetros de medição, nomeadamente as unidades e os períodos de tempo.

A figura 4.2 é um exemplo da recolha de dados, nomeadamente para o micro-processo Armazenagem de Fardos.

Processo	Material	Quantidade	Unidade/período tempo	Valor introduzido no Umberto	Unidade/período tempo	Auxiliares/cálculos
Armazenagem de fardos (origem: 94,5% SPV e 5,5% particulares)	Combustível gasto na armazenagem / arrumação dos fardos que chegam à instalação	11,00	l/dia	9,13	kg/dia	densidade gasóleo = 830 kg/m <sup>3</sup>
	Distância média percorrida neste processo (cálculo de emissões)	4	km/dia	0,427	kg/dia	
	Emissões empilhador CO	1870	g/dia	0,15583	kg/dia	
	Emissões empilhador HC	486	g/dia	0,04050	kg/dia	
	Emissões empilhador NOx	2618	g/dia	0,21817	kg/dia	
	Emissões empilhador PM	150	g/dia	0,01250	kg/dia	
	Fardos de garrafas PET - SPV			35552,92	kg/dia	Este valor contempla os 37400kg de garrafas PET e os resíduos valorizáveis e indiferenciados. Valores obtidos após multiplicação pelas percentagens (origem).
	Fardos de garrafas PET - particulares			2069,22	kg/dia	
	Fardos garrafas PET (soma SPV + particulares) e resíduos			37622,13	kg/dia	

**Figura 4.2: Exemplo do levantamento de dados de entrada e saída do processo de reciclagem mecânica, micro-processo Armazenagem de fardos**

Após recolha de todos os dados e respectiva revisão passou-se à fase de modelação do processo no software UMBERTO®. Este modelo partiu da construção de uma base de dados de todos os materiais e respectivas unidades, tal como se exemplifica na figura 4.3.



**Figura 4.3: Base de dados de todas as entradas e saídas do processo de reciclagem mecânica, construída no software UMBERTO®**

Posteriormente, efectuou-se à representação gráfica, ilustrando-se na figura 4.4 o macro-processo. Este, bem como as demais representações encontram-se no anexo II.

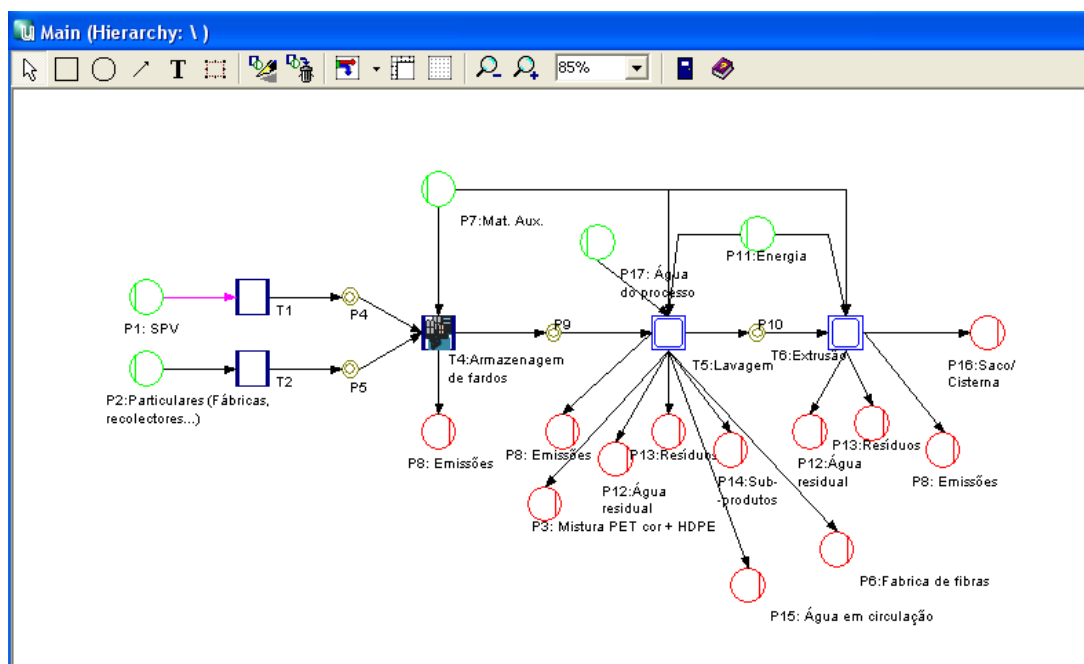


Figura 4.4: Representação gráfica no software UMBERTO® do processo de reciclagem mecânica, 1º nível de rede ou macro-processo

O passo seguinte consistiu na especificação das entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) de cada transição e respectivas quantidades, tal como se verifica na figura 4.5.

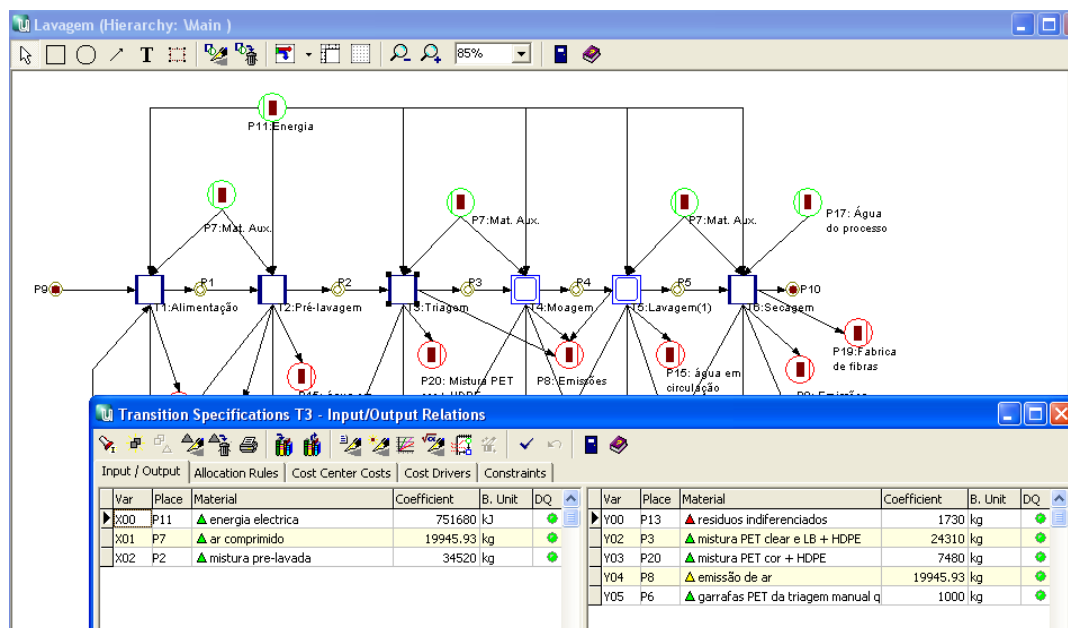


Figura 4.5: Introdução de dados de entrada e saída no software UMBERTO®

Posteriormente foi efectuado o cálculo do modelo da rede de fluxo, após o qual foi criado e apresentado um inventário no UMBERTO®. As tabelas de *input/output* ou inventários são a forma de apresentar todos os fluxos de entrada e saída de um sistema. A seta de entrada que aparece a cor-de-rosa na figura 4.4 significa que esses dados têm que ser medidos manualmente. Os dados relativos a todas as outras setas (representadas a preto) são calculados automaticamente pelo software UMBERTO®. Ao efectuar o cálculo da rede a cor das setas muda de cinza para preto para mostrar que a rotina de cálculo foi executada com sucesso.

Os resultados do inventário foram analisados e todas as incongruências detectadas foram revistas com os responsáveis da empresa, até que os balanços de massas e energia resultassem em equilíbrio.

O quadro 4.1 contem um resumo de todas as fases deste projecto.

## FASES DO PROJECTO

---

Compreensão do *Processo* objecto de estudo

---

*Elaboração do fluxograma do Processo*

---

Definição das *entradas* e *saídas* do *Processo*

---

Determinação do nível de detalhe do *Processo*

---

Levantamento de dados

---

Definição dos parâmetros de medição (unidades e períodos de tempo)

---

Construção da base de dados de materiais no UMBERTO®

---

Representação gráfica no UMBERTO®

---

Especificação das *entradas* e *saídas* no UMBERTO®

---

Revisão dos dados

---

**Quadro 4.1: Resumo das fases do projecto**

## 4.2. RECOLHA E ANÁLISE DE DADOS

Tal como referido em 4.1, com base nos fluxogramas desenhados (ver anexo I), foi elaborada uma tabela com todas as entradas e saídas de cada processo. Essa tabela foi preenchida pela empresa, com os dados disponíveis. Posteriormente, os dados recolhidos

foram revistos e trabalhados de modo a cumprirem os parâmetros de medição e poderem ser introduzidos no software UMBERTO®.

Após modelação no software UMBERTO® verificou-se a existência de algumas incoerências do levantamento de dados, uma vez que o balanço de massas tem que resultar em equilíbrio. A revisão dos dados, efectuada juntamente com os responsáveis pelo processo de reciclagem mecânica da empresa, permitiu equilibrar os balanços.

A análise dos dados foi efectuada com base nos resultados de cálculo (*inventory*) do software UMBERTO® e recurso a gráficos, bem como a representação gráfica dos fluxos de massa, existentes na aplicação. O diagrama *Sankey* do software UMBERTO®, ilustrado na figura 4.7, foi um dos gráficos utilizados. Este é um mapa de fluxos onde as quantidades em fluxo são representadas por setas com largura proporcional à sua massa ou energia. Os fluxos maiores que 2 milhões de kg são mostrados com um tracejado em forma de “X” que indica que excederam o limite de fluxo. Os outros fluxos são apresentados em escala proporcional ao *maximum flow* de 2 milhões de kg (CEIFA, 2006). A construção de um diagrama *Sankey* começa pela atribuição de uma cor a cada um dos elementos de entrada ou de saída do processo, tal como apresentado na figura 4.6.

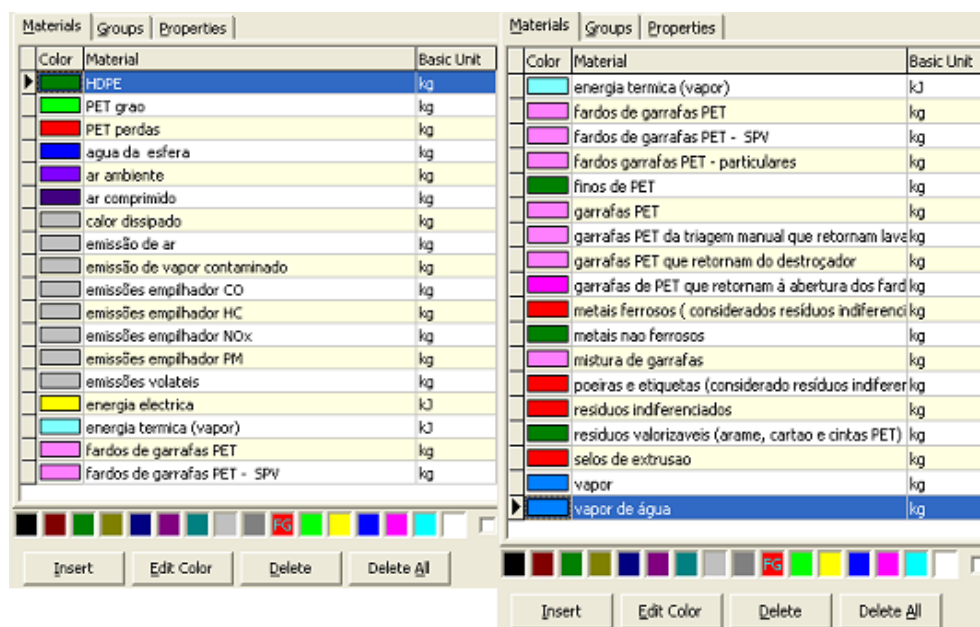
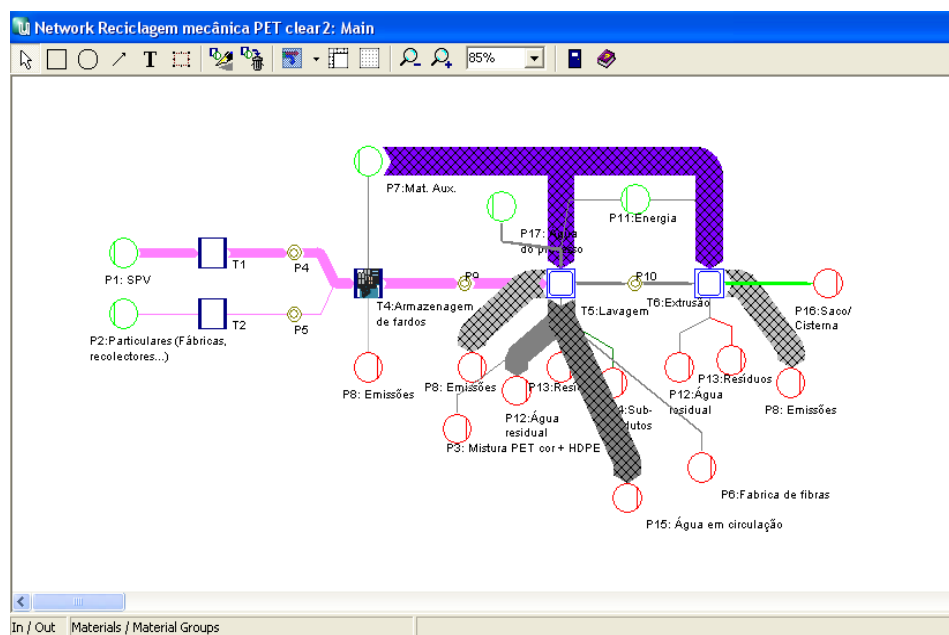


Figura 4.6: Construção de um diagrama Sankey no software UMBERTO®



**Figura 4.7 : Diagrama Sankey do processo de reciclagem mecânica**

A análise dos resultados obtidos na modelação com o software UMBERTO<sup>®</sup> do processo de reciclagem mecânica permitiu indagar em que medida o objectivo deste trabalho foi alcançado.

## CAPÍTULO 5 – CASO DE ESTUDO

### 5.1. INTRODUÇÃO AO CASO DE ESTUDO

Este estudo tem como propósito analisar o método de reciclagem mecânica de embalagens pós-consumo em PET existente em Portugal numa perspectiva ambiental, com o intuito de avaliar se o referido método está em linha com as políticas ambientais actualmente existentes na União Europeia.

O processo em questão foi caracterizado com recurso ao software UMBERTO®, o qual permitiu a modelação dos fluxos de materiais e energia existentes no processo e a obtenção dos balanços de massas e energia respectivos. Esta abordagem é pioneira na medida em que não existem processos de reciclagem mecânica estudados usando esta aplicação informática.

Os resultados da modelação foram analisados e contrastados com o objectivo definido, dando origem a conclusões explanadas no capítulo 7.

### 5.2 PROCESSO DE RECICLAGEM MECÂNICA EXISTENTE EM PORTUGAL

A empresa estudada dedica-se à reciclagem de embalagens de PET, maioritariamente garrafas de água e bebidas carbonatadas (*soft drinks*) provenientes da recolha selectiva. Este processo de reciclagem compreende 2 fases, a **lavagem** e a **extrusão**. O sistema de lavagem utiliza uma concepção modular das linhas produtivas, o que significa que os equipamentos podem ser combinados de diferentes maneiras, a fim de garantir a solução mais eficiente e adequada ao processo e ao fluxo de materiais (*lay-out*). São máquinas vocacionadas para a alta eficiência a elevado rendimento (*output*). Permite a reciclagem de plásticos provenientes de diferentes modos de alienação com vários tipos de agentes contaminantes e características da embalagem. Este sistema consiste na lavagem e corte das garrafas em pequenas partículas denominadas escamas (*flakes*) de PET.

O processo de reciclagem por extrusão denomina-se *super-clean*. Consiste numa unidade de reciclagem de PET que transforma a escama (*flake*) de PET convertendo-a em grânulos (*pellets*). O passo chave deste conceito de reciclagem é a existência de um reactor seguido



de uma extrusora. Com esta tecnologia produz-se PET reciclado para contacto directo com alimentos. A função do reactor é descontaminar a escama de PET libertando-a dos compostos voláteis. O processo está aprovado pela FDA através de “carta de não objecção” (*letter of no objection*) e refere-se à produção de reciclado de PET pós-consumo aprovado para utilização em contacto com todos os tipos de alimentos tanto à temperatura ambiente e abaixo desta, como para enchimento a quente (*hot fill applications*), acima de 150°C e até em condições mais severas.

O processo de reciclagem mecânica foi inicialmente representado em fluxogramas, que se encontram no anexo I.

### 5.3. REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO EM FLUXOGRAMAS

Tal como referido no ponto 4.1 do capítulo 4, o processo de reciclagem mecânica português foi representado em fluxogramas com quatro níveis de detalhe (ver anexo I).

O “1º nível de rede” ou macro-processo foi representado por quatro micro-processos, nomeadamente (anexo I, figura I.1):

- Transporte (com duas vias de entrada);
- Armazenagem de fardos;
- Lavagem;
- Extrusão.

O 2º nível consistiu na pormenorização dos micro-processos Lavagem e Extrusão.

A Lavagem foi dividida nos processos (anexo I, figura I.2):

- Alimentação;
- Pré-lavagem;
- Triagem;
- Moagem;
- Lavagem 1;
- Secagem.

O micro-processo Extrusão foi dividido nos processos (anexo I, figura I.15):

- Alimentação;
- Reactor;

- Extrusão 1;
- Arrefecimento;
- Granulação;
- Despoeiramento – Tina com permutador;
- Pesagem;
- Ensacamento;
- Armazenagem.

O detalhe de alguns processos deu origem ao 3º nível da rede. Assim, o processo Alimentação do micro-processo Lavagem dividiu-se nos sub-processos (anexo I, figura I.3):

- Abertura dos fardos;
- Tapete (transporte);
- Alimentação + destroçador (Plasmaq);
- Tapete 2 (transporte).

O processo Pré-lavagem do micro-processo Lavagem dividiu-se nos sub-processos (anexo I, figura I.4):

- Tambor de pré-lavagem;
- Crivo – Fossa; Crivo - Tanque;
- Ventilador (transporte).

O processo Triagem do micro-processo Lavagem dividiu-se nos sub-processos (anexo I, figura I.5):

- Triagem automática;
- Triagem manual (2);
- Tapete (transporte-3).

Existem dois processos Moagem, relativos aos fluxos de garrafas de cor e garrafas *clear* e *light blue*. O processo Moagem (fluxo cor) do micro-processo Lavagem dividiu-se nos sub-processos (anexo I, figura I.6):

- Moinho pequeno;
- Ventilador (transporte);
- Ensacamento (big-bags);
- Armazenagem.

O processo Moagem (*fluxo clear* e *light blue*) do micro-processo Lavagem dividiu-se nos sub-processos (anexo I, figura I.7):

- Moinho;
- Sem-fim (transporte);
- Centrífuga;
- Depósito de bombagem;
- Tina;
- Ensacamento - Pesagem – Transporte;
- Rotosieve (filtro) – Crivo-Fossa – Tanque + bombagem.

O processo Lavagem 1 do micro-processo Lavagem dividiu-se nos sub-processos (anexo I, figura I.8):

- Lavagem 2;
- Centrifugação;
- Enxaguamento a quente;
- Enxaguamento a frio.

O processo Secagem do micro-processo Lavagem dividiu-se nos sub-processos (anexo I, figura I.13 e I.14):

- Centrífuga vertical;
- Crivo – Fossa;
- Ventilador – Permutador de calor - Secador vibratório;
- Ciclone – Ensacamento (big-bags);
- Válvula doseadora – Ventilador (transporte) – Despoeirador em Z com ciclone – Ensacamento big-bags – Ventilador (transporte);
- Ciclone;
- Detector de metais manual;
- Detector de metais eléctrico – Ensacamento (big-bags);
- Válvula derivatória;
- *Big-bags*;
- Empilhador.

No caso do micro-processo Extrusão, o 3º nível é composto pela divisão do processo Alimentação nos sub-processos (anexo I, figura I.16):

- Transporte (empilhador);
- Sem-fim alimentação (2).

O processo Extrusão 1 do micro-processo Extrusão dividiu-se em (anexo I, figura I.17):

- Extrusora;
- Filtro autolimpante;
- Fieira.

O processo Despoeiramento do micro-processo Extrusão dividiu-se em (anexo I, figura I.20):

- Crivo;
- Centrífuga – Crivo – Fossa;
- Ventilador (transporte).

O processo Ensacamento do micro-processo Extrusão dividiu-se em (anexo I, figura I.21):

- Ventilador (transporte);
- Ensacamento (big-bags).

No 4º nível, no caso do micro-processo Lavagem, o sub-processo Lavagem 2 (do processo Lavagem 1) dividiu-se em (anexo I, figura I.9):

- Ventilador (transporte);
- Silo intermédio (sem-fim homogeneização);
- Sem-fim (transporte);
- Sem-fim (alimentação);
- Reactor 1 (agitador);
- Bomba 1 (transporte);
- Bomba 2 (transporte);
- Crivo – tanque alimentação - Reactor 2 (agitador).

No 4º nível, no micro-processo Lavagem, o sub-processo Centrifugação (do processo Lavagem 1) dividiu-se em (anexo I, figura I.10):

- Sem-fim (transporte);
- Centrífuga dupla etapa;
- Crivo – fossa.

No 4º nível, no micro-processo Lavagem, o sub-processo Enxaguamento a quente (do processo Lavagem 1) dividiu-se em (anexo I, figura I.11):

- Enxaguamento a quente;
- Crivo;
- Tanque alimentação – Bomba transporte;
- Ventilador (transporte).

No 4º nível, no micro-processo Lavagem, o sub-processo Enxaguamento Frio (do processo Lavagem 1) dividiu-se em (anexo I, figura I.12):

- Enxaguamento frio (agitação);
- Bomba (transporte);
- Tanque separação – Crivo - Fossa;
- Crivo;
- Sem-fim (transporte);
- Tanque intermédio.

No 4º nível do micro-processo Extrusão, o sub-processo Extrusora (do processo Extrusão 1) dividiu-se em (anexo I, figura I.18):

- Parafuso sem-fim;
- 1ª zona de aquecimento;
- 2ª zona de aquecimento;
- 3ª zona de aquecimento.

Ainda no 4º nível do micro-processo Extrusão, o sub-processo Fieira (do processo Extrusão 1) dividiu-se em (anexo I, figura I.19):

- Pescoço;
- Fieira.

#### **5.4. MODELAÇÃO NO SOFTWARE UMBERTO®**

No capítulo da metodologia (capítulo 4), detalharam-se as várias fases de modelação na aplicação informática. De modo a proteger os interesses da empresa as tabelas de levantamento de dados não são apresentadas. As representações gráficas da modelação no software UMBERTO® apresentam-se no Anexo II.

A modelação inicia-se pela definição de todos os materiais e unidades respectivas, utilizadas para processar o cálculo. O “kg” é a unidade básica para as substâncias baseadas em massa e o “kJ” para energia. Os materiais são classificados de acordo com o seu tipo (*material type*) que é *good* para todas as matérias-primas, energia e produtos do sistema e *bad* para emissões e resíduos. Os materiais são agrupados, por exemplo o grupo emissões contem o calor dissipado e as emissões dos empilhadores, entre outros.

A modelação gráfica da rede de fluxo de materiais começa pelo desenho dos processos, que no UMBERTO<sup>®</sup> designam-se “transições” e que são representados por um símbolo quadrado. Os “lugares” são os elementos usados como fonte ou destino de materiais e são representados por um círculo. Para os “lugares” é necessário especificar o seu tipo, que pode ser *input* (verde) ou *output* (vermelho). Os “lugares” de entrada são os elementos dos quais o sistema inventariado recebe os materiais do ambiente que o circunda. “Lugares” de saída são os elementos onde os materiais são descartados pelo sistema inventariado, para o ambiente que o circunda. Tanto os “lugares” de entrada como os de saída definem os limites do sistema. Os “lugares” são ligados às “transições”. Efectua-se a especificação de cada “transição” (*Transition Specifications*) na tabela de *Input/Output* respectiva, colocando-se os materiais de **entrada** e de **saída** do processo e os coeficientes (quantidades do processo nas unidades básicas).

Com base nos dados fornecidos pela empresa relativamente à produção de escama de PET efectuou-se a especificação desse fluxo de material. Esse valor foi definido manualmente (*manual flow*). Ao efectuar o cálculo da rede com a quantidade de fluxo especificada a cor da linha das setas muda de cinza para preto, o que significa que a rotina de cálculo foi executada com sucesso. Nesta fase o balanço de *inputs/outputs* do sistema pode ser mostrado.

Tal como se disse no ponto 4.2 do capítulo 4, os balanços de massas e energia extraídos do software através dos inventários (*inventory*) serviram de base para as análises e avaliações subsequentes. Os balanços (*balance sheet input/output*) do macro-processo bem como dos micro-processos Lavagem e Extrusão são apresentados no anexo III.

## 5.5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Tendo em consideração o facto do fluxo importante para a empresa ser o do PET *clear* e *light blue*, uma vez que os outros fluxos resultam da má triagem nos Centros de Triagem, decidiu-se afectar todas as cargas ambientais a estes fluxos.

### 5.5.1 Energia eléctrica (1º nível da rede) – dados de entrada

Energia eléctrica	Quantidade (KJ)	kWh	kWh/t
Lavagem	16.468.678	4.574,6	213
Extrusão	15.411.165	4.280,9	304

Tal como se verifica na figura 5.1, o consumo de energia eléctrica total no micro-processo de Lavagem é superior ao do micro-processo de Extrusão (aproximadamente 7 %). Porém, o consumo ponderado de energia eléctrica da Extrusão é superior ao da Lavagem (aproximadamente 30 %), considerando a saída do produto (ver anexo III, figuras III 2 e III 3).

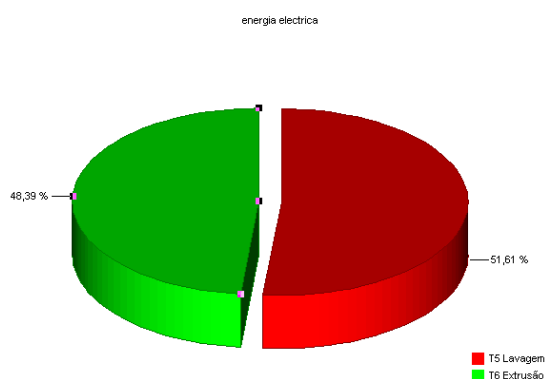
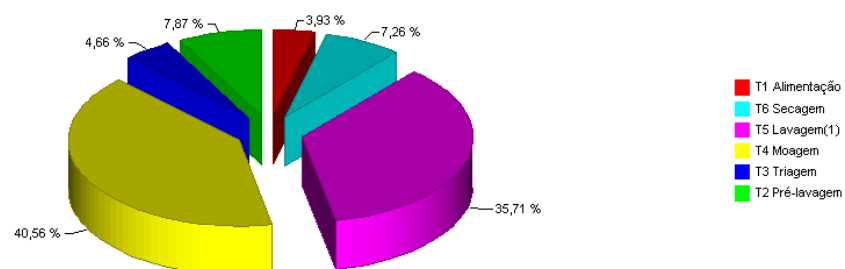


Figura 5.1 – Comparação da energia eléctrica dos micro-processos de Lavagem e Extrusão

#### 5.5.1.1 Energia eléctrica no micro-processo de Lavagem (2º nível da rede) – dados de entrada

Energia eléctrica	Quantidade (KJ)
Alimentação	647.942
Pré-lavagem	1.295.885
Triagem	772.205
Moagem	6.656.942
Lavagem (1)	5.854.054
Secagem	1.241.650

O processo Moagem é o maior consumidor de energia eléctrica, logo seguido da Lavagem (1), figura 5.2.



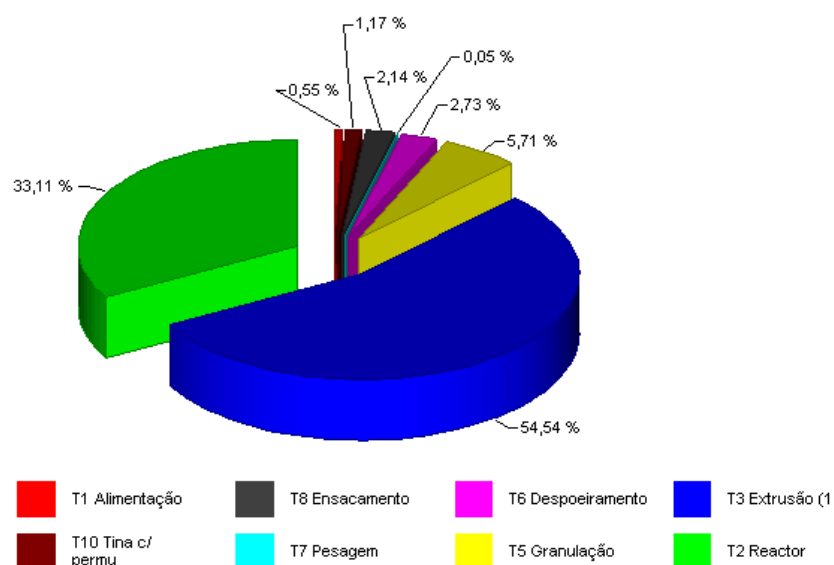
**Figura 5.2 – Energia eléctrica dos processos de 2º nível da Lavagem**

#### **5.5.1.2 Energia eléctrica no micro-processo de Extrusão (2º nível da rede) – dados de entrada**

Energia eléctrica	Quantidade (KJ)
Alimentação	83.663
Reactor	5.142.528
Extrusão (1)	8.363.939
Granulação	878.851
Despoeiramento	419.096
Pesagem	7.919
Ensacamento	334.651
Tina com permutador	180.818

A Extrusão (1) seguida do Reactor são os processos de maior consumo de energia eléctrica, figura 5.3.





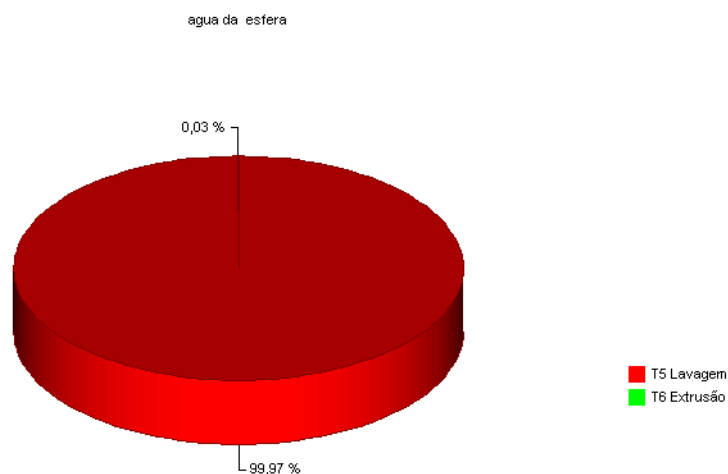
**Figura 5.3 – Energia eléctrica dos processos de 2º nível da Extrusão**

### 5.5.2 Água da esfera (1º nível da rede) – dados de entrada

A esfera é um depósito de armazenagem de água. Esta água é proveniente da rede de abastecimento público de água.

Água da esfera	Quantidade (kg)	Quantidade (m <sup>3</sup> /t)
Lavagem	197.201,17	9,2
Extrusão	65,16	0,0046

O micro-processo de Extrusão praticamente não consome água. No entanto, o consumo hídrico do micro-processo de Lavagem é elevado, figura 5.4. O consumo ponderado com base nas saídas de produto (anexo III, figuras III 2 e 3) mostra que a Lavagem consome 99,95 % mais de água do que a Extrusão.

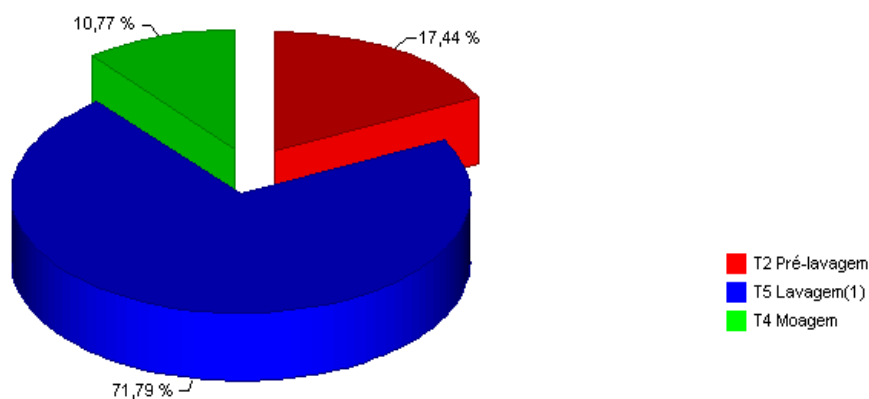


**Figura 5.4 – Comparação da água nos micro-processos Lavagem e Extrusão**

#### 5.5.2.1 Água da esfera no micro-processo de Lavagem (2º nível da rede) – dados de entrada

Água da esfera	Quantidade (kg)
Pré-lavagem	33.901,09
Moagem	20.957,04
Lavagem (1)	142.343,04

É na Lavagem (1) que existe maior consumo de água da esfera (figura 5.5), o qual representa 72 % do total face a 17 % da Pré-lavagem.



**Figura 5.5 – Água nos processos de 2º nível da Lavagem**

### 5.5.3 Ar comprimido no micro-processo de Lavagem (2º nível da rede) – dados de entrada

Ar comprimido	Quantidade (kg)
Triagem	20.490,57
Lavagem (1)	2.376,11
Secagem	2.141,09

É na Triagem que ocorre o maior consumo de ar comprimido (figura 5.6), representando 82% do total.

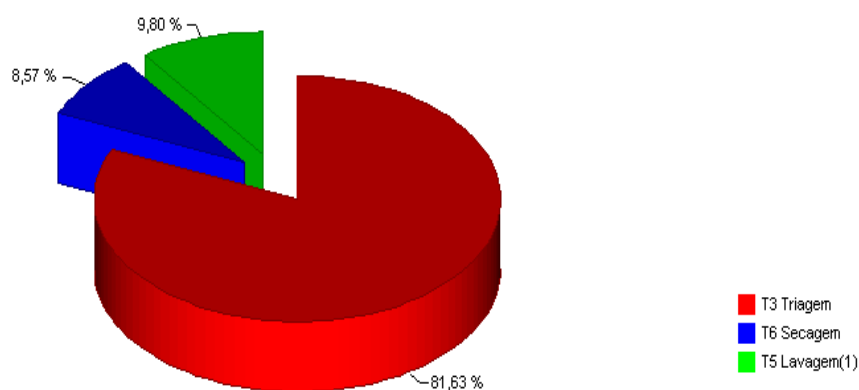
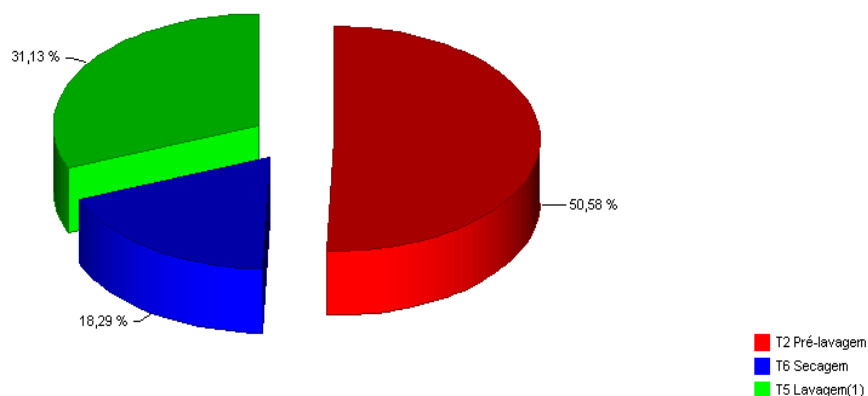


Figura 5.6: Ar comprimido nos processos de 2º nível da Lavagem

### 5.5.4 Vapor no micro-processo de Lavagem (2º nível da rede) – dados de entrada

Vapor	Quantidade (kg)
Pré-lavagem	13.354,98
Lavagem (1)	8.014,27
Secagem	4.705,85

É na Pré-lavagem que existe maior consumo de vapor (figura 5.7), com 51% do total.



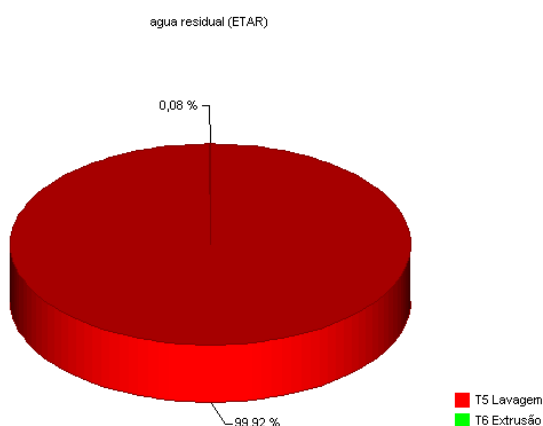
**Figura 5.7: Vapor nos processos de 2º nível da Lavagem**

#### 5.5.5 Água residual (1º nível da rede) – dados de saída

Água residual (ETAR)	Quantidade (l)	Quantidade (m³/t)
Lavagem	85.150,21	3,97
Extrusão	65,16	0,0046

A água residual é encaminhada para a Estação de Tratamento de Águas Residuais da empresa (ETAR), onde é tratada antes de ser lançada na ETAR municipal.

O micro-processo de Extrusão praticamente não gera águas residuais. Em contrapartida, o micro-processo de Lavagem descarrega muita água residual na ETAR da empresa, figura 5.8.



**Figura 5.8: Comparação da água residual dos micro-processos Lavagem e Extrusão**

#### 5.5.5.1 Água residual no micro-processo Lavagem – dados de saída

Água residual (ETAR)	Quantidade (l)
Pré-lavagem	31.918,39
Moagem	20.978,61
Lavagem (1)	22.452,35
Secagem	9.800,85

É na Pré-lavagem que é gerada maior quantidade de água residual, seguida de perto pela Lavagem (1) e Moagem, figura 5.9. A Pré-lavagem representa 37,5 % do total e a Lavagem (1) 26,4 %.

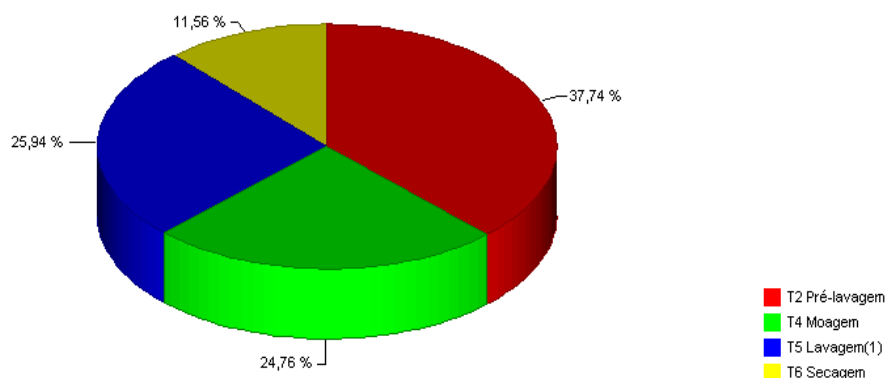


Figura 5.9: Água residual dos processos de 2º nível da Lavagem

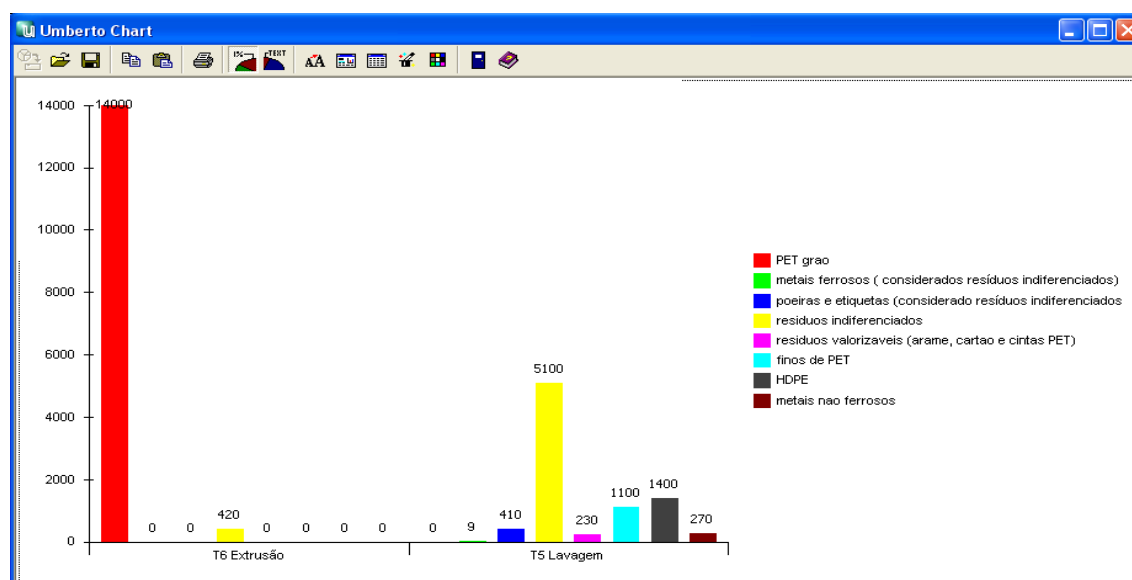
#### 5.5.6 Resíduos (1º nível da rede) – dados de saída

Resíduos	Processo	Quantidade (kg)
Metais ferrosos	Lavagem	9,05
Poeiras e etiquetas	Lavagem	407,24
Resíduos indiferenciados	Lavagem	5.114,88
	Extrusão	423,57
Resíduos valorizáveis	Lavagem	227,58

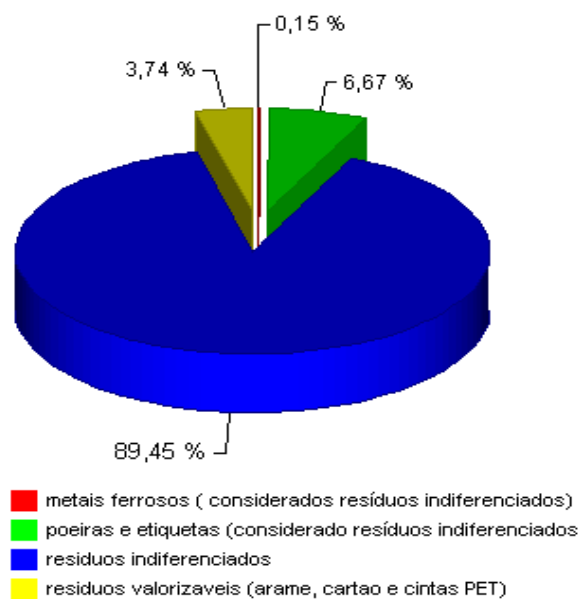
A empresa considera como resíduos valorizáveis, aqueles que são vendáveis. A empresa separa para venda, o arame (código LER 191202), o cartão (código LER 150101) e as cintas de PET (código LER 150102). Os resíduos indiferenciados contêm todo o tipo de resíduos que não podem ser aproveitados nem podem sofrer nenhum tipo de tratamento na

empresa, sendo o seu único destino o aterro. Os metais ferrosos (código LER 191212), poeiras e etiquetas (código LER 191212), embora sejam resíduos indiferenciados (código LER 191212) são monitorizados separadamente porque a empresa pretende quantificar estes resíduos e determinar a sua evolução para posteriormente estipular indicadores de desempenho operacional (IDO).

O micro-processo de Lavagem é mais gerador de resíduos do que o micro-processo de Extrusão, sendo que o primeiro contém aproximadamente 27 % de resíduos e o segundo 3 %. Tal como se pode verificar nos gráficos das figuras 5.10 e 5.11, a maior parte dos resíduos não são passíveis de aproveitamento e o seu destino é o aterro.



**Figura 5.10 – Produtos de saída da reciclagem mecânica**

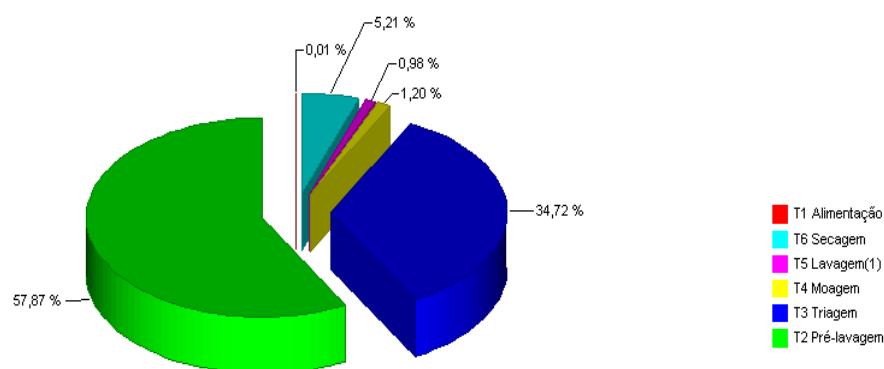


**Figura 5.11 – Resíduos da reciclagem mecânica**

#### **5.5.6.1 Resíduos indiferenciados no micro-processo de Lavagem (2º nível da rede) – dados de saída**

Resíduos indiferenciados	Quantidade (kg)
Alimentação	0,6
Pré-lavagem	2.958,6
Triagem	1.777,2
Moagem	61,6
Lavagem (1)	50,7
Secagem	266,1

É na Pré-lavagem que são extraídos mais resíduos indiferenciados, seguida pela Triagem, figura 5.12. Os resíduos na Pré-lavagem representam 57,8 % do total e na Triagem 34,7 %.

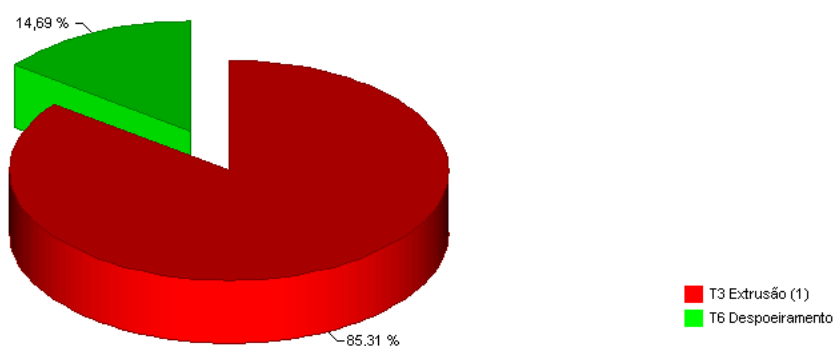


**Figura 5.12 – Resíduos dos processos de 2º nível da Lavagem**

#### 5.5.6.2. Resíduos indiferenciados no micro-processo de Extrusão – dados de saída

Resíduos indiferenciados	Quantidade (kg)
Extrusão (1)	362
Despoeiramento	62

A Extrusão (1) gera maior quantidade de resíduos indiferenciados do que o Despoeiramento, fig. 5.13. Os resíduos extraídos na Extrusão (1) são aqueles que ficam agarrados aos filtros, nomeadamente partículas metálicas, contaminantes orgânicos carbonizados e partículas inorgânicas. Os resíduos do despoeiramento são poeiras de PET (finos na terminologia adoptada na empresa).



**Figura 5.13 – Resíduos dos processos de 2º nível da Extrusão**



### 5.5.7 Relação produto/resíduos no processo de reciclagem mecânica (1º nível da rede)

No âmbito deste estudo, consideram-se como produtos, o produto final (escamas e/ou grânulos de PET), os resíduos e os subprodutos. Estes últimos são materiais passíveis de serem vendidos, nomeadamente o HDPE (código LER 191204), poeiras de PET (código LER 191204) e metais não ferrosos (código LER 191203).

A comparação dos grânulos de PET com os resíduos de maior quantidade (resíduos indiferenciados) permite verificar que a produção destes resíduos é elevada, já que representam 26 % do total das saídas (*outputs*) enquanto os grânulos de PET representam 61 %, figura 5.14.

Os resíduos totais correspondem a 27 % das saídas do processo de reciclagem mecânica e os subprodutos 12 %.

Com base nestes dados, verifica-se que o processo é pouco eficiente, pois gera uma quantidade de resíduos apreciável (27 %), sendo que a quantidade de subprodutos é reduzida, apenas 2.770 kg (12 % do total de produtos e 31 % do total de resíduos).

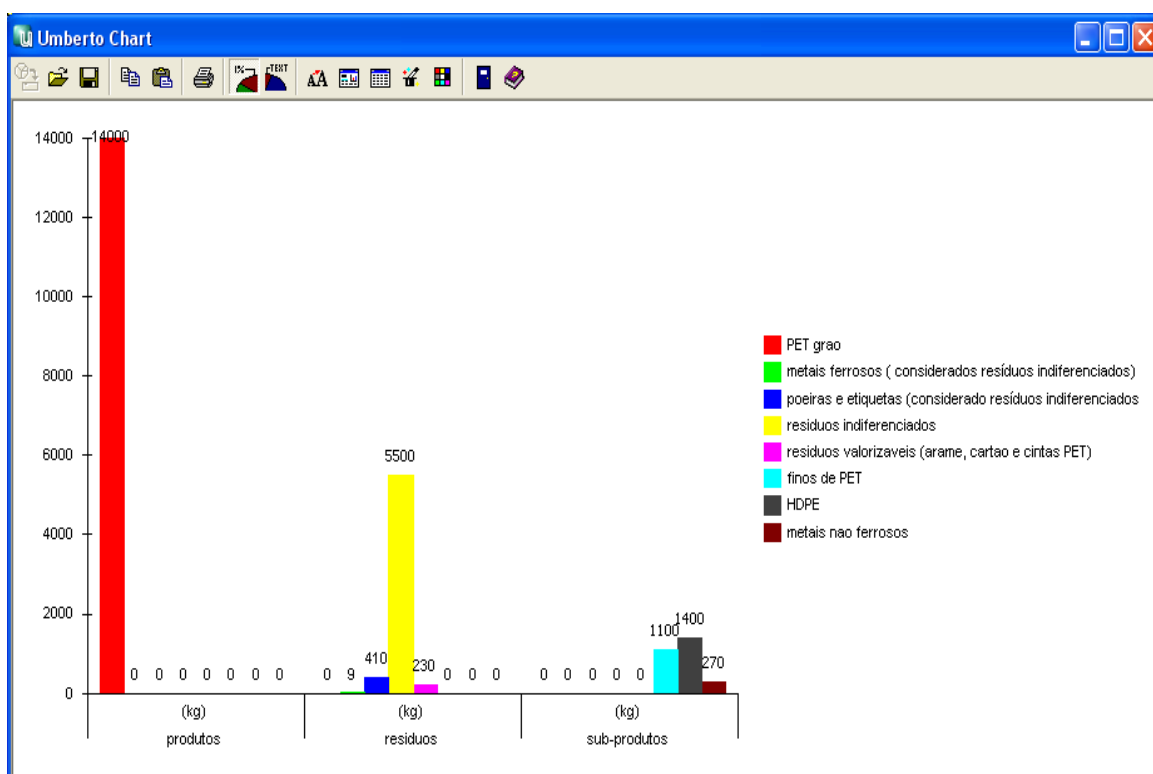


Figura 5.14: Relação entre produto final, resíduos e subprodutos – 1º nível de rede

#### 5.5.7.1 Relação produtos/resíduos no micro-processo de Lavagem (2º nível da rede)

Os resíduos indiferenciados representam 15% do total das saídas, tal como se extrai do *balance sheet input/output* do anexo III, figura III 2 e a figura 5.15 ilustra. O produto principal, escama de PET *clear/light blue*, corresponde a 57 % do total das saídas de produto e a escama de PET cor misturada com HDPE representa 20 %.

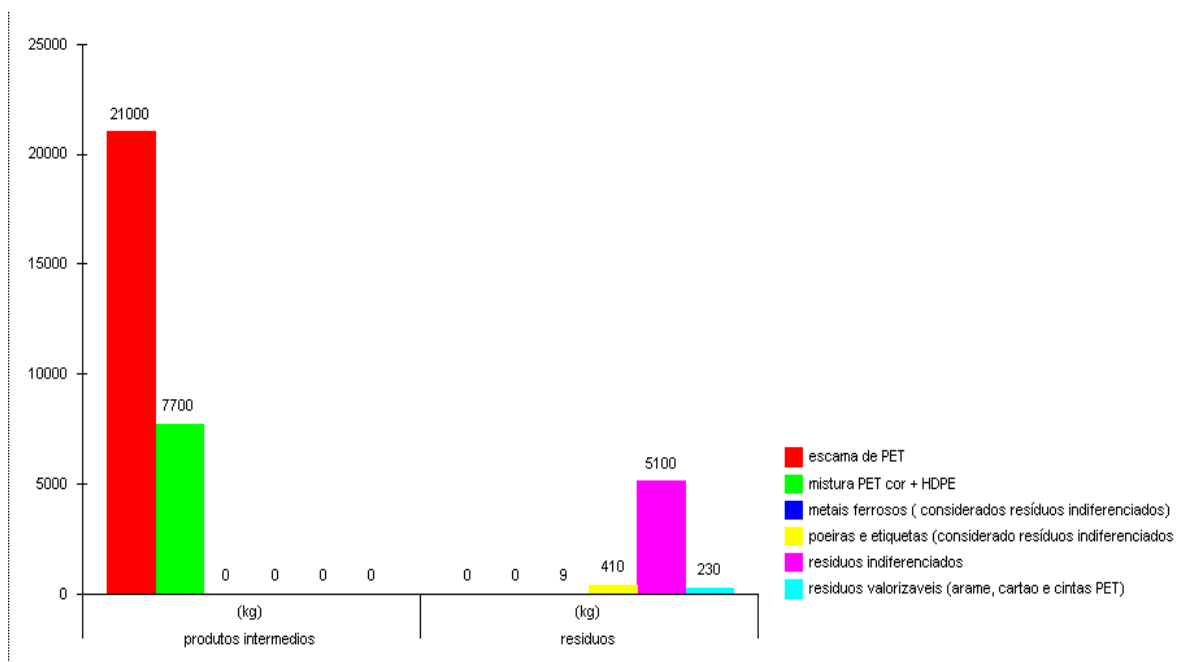
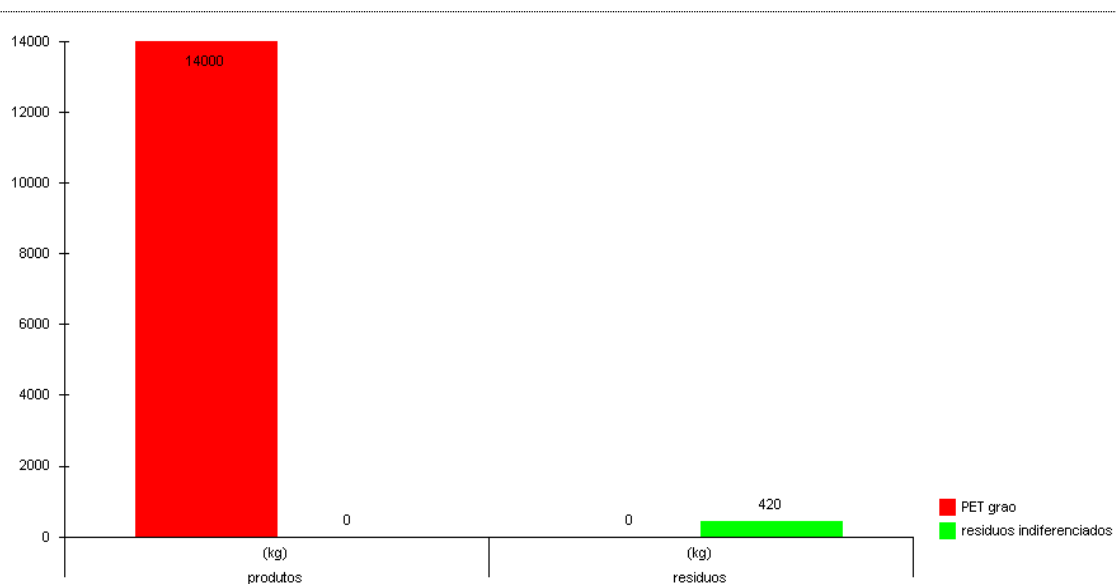


Figura 5.15: Relação entre escama de PET e resíduos da Lavagem – 2º nível de rede

#### 5.5.7.2 Relação produtos/resíduos no micro-processo de Extrusão (2º nível da rede)

No micro-processo de Extrusão, a produção do granulado de PET corresponde a 97 %, face aos resíduos que representam 3 % (figura 5.16). Este micro-processo é bastante mais eficiente que a Lavagem.



**Figura 5.16: Relação entre grânulos de PET e resíduos de Extrusão – 2º nível de rede**

### 5.5.8 Fluxos de materiais e energia (1º nível da rede)

A representação gráfica quantitativa do processo de reciclagem mecânica (diagrama Sankey, figura 5.17) permite visualizar os materiais de maior consumo, que são o grupo dos **materiais auxiliares**, o qual contem a água da esfera, água da lavagem (2), anti-espumante, ar comprimido, combustível, detergentes, entrada de água, filtros, tensioactivo MS4, soda cáustica e vapor, e as saídas de maiores fluxos que são as **emissões** (calor dissipado e ar) e a **água em circulação**.

Embora os materiais auxiliares constituam a entrada de maior fluxo, no diagrama (figura 5.17) não é facilmente perceptível qual o material ou materiais de maior consumo. Para tal é necessário consultar os balanços de entradas e saídas (*balance sheet input/output*) que se encontram no anexo III, figura III.1. Verifica-se assim que as entradas mais representativas são a “água de lavagem (2)” e a “entrada de água”. Analisando o detalhe destes fluxos verifica-se que a primeira água refere-se ao processo Lavagem 1 e a segunda água refere-se à Pré-lavagem. A água embora seja utilizada em grande quantidade é reaproveitada, diminuindo assim o seu impacte. No micro-processo Lavagem a quantidade de água em circuito fechado representa 96,5 % do total das saídas de água.

No caso das saídas, as emissões não representam um impacte ambiental negativo porque são apenas calor e ar. Ambos os micro-processos, Lavagem e Extrusão, libertam muitas emissões de ar, sendo que na Lavagem correspondem a 65% das saídas e na Extrusão



Os resultados enviados por este Instituto, por intermédio da empresa CEIFA, encontram-se resumidos no quadro 5.1.

	<b>Electricidade (kWh/t)</b>	<b>Energia térmica (MJ/t)</b>	<b>Água (m<sup>3</sup>/t)</b>	<b>Resíduos (kg/t)</b>	<b>Eficiência (%)</b>
<b>Alemanha</b>	500 a 700	1100 a 1600	3 a 10	200 a 400	85 a 93 (PET <sub>out</sub> /PET <sub>in</sub> )
<b>Portugal</b>	630,52	??	14,03	439,83	37,4

**Quadro 5.1: Dados da Alemanha, dados médios para reciclagem mecânica de PET utilizável para produzir novas embalagens (IFEU, 2008)**

A comparação dos indicadores de desempenho operacional do processo português com os resultados da Alemanha permite verificar que o processo de reciclagem mecânica implementado em Portugal é pouco eficiente (37,4 %). A eficiência global foi calculada pela divisão da saída dos grânulos de PET pela entrada de garrafas de PET, tanto do sistema SPV como dos “particulares” (anexo III, figura III.1). Analisando os micro-processos, verifica-se que a eficiência global da Lavagem é de 57 % e a Extrusão é de 97 % (anexo III, figuras III.2 e III.3).

Embora a quantidade de resíduos do processo português não seja absurda em comparação com o processo da Alemanha, há fluxos que saem como subprodutos, nomeadamente as garrafas de PET de cores misturadas com garrafas de HDPE e os resíduos de HDPE provenientes de tampas, gargalos e pedaços de garrafas, o que faz baixar a eficiência de saída do produto principal. Isto deve-se ao facto de o material de entrada estar mal triado, ou seja, a matéria-prima (garrafas de PET transparentes) chega à empresa misturada com muitas garrafas de outros tipos. A melhoria da eficácia do processo de triagem levaria a um aumento da eficiência do processo global. Outro dos motivos que leva à diminuição da eficiência é o facto do processo de extrusão permitir apenas a entrada de lotes de aproximadamente 14 toneladas de cada vez. A escama restante que sai na lavagem (6.959,23 kg, anexo III, figura III.1) só entra num ciclo de extrusão posterior.

Em termos energéticos, o consumo de electricidade do processo português está dentro da amplitude de consumo do processo da Alemanha. Apesar de existirem dados de consumo de energia térmica na forma de vapor do processo português, não foi possível compará-los com os do Instituto IFEU porque as unidades são diferentes, os dados portugueses estão em quilogramas/dia e os valores do Instituto IFEU em MJ/t.

O consumo de água do processo português é pelo menos 40 % superior ao do processo de reciclagem da Alemanha.

#### 5.5.9.2 Estudo científico da *Franklin Associates* para a *The Plastics Division of the American Chemistry Council*.

Tal como referido no ponto 3.5, nos EUA foi elaborado este ano de 2010 um relatório relativo à análise do ciclo de vida do PET reciclado proveniente de material pós-consumo, intitulado “*Life cycle inventory of 100% postconsumer HDPE and PET recycled resin from postconsumer containers and packaging*”. A *Franklin Associates* foi a responsável pela emissão deste documento, datado de 7 de Abril, o qual foi elaborado para a *The Plastics Division of the American Chemistry Council, Inc.*

O relatório apresenta um estudo baseado no inventário do ciclo de vida (LCI) o qual quantifica as necessidades totais de energia, as fontes de energia, os poluentes atmosféricos, os poluentes aquáticos e os resíduos sólidos resultantes da produção de reciclado de PET e PEAD a partir de material pós-consumo.

No capítulo 2 do relatório, as páginas da 2-13 à 2-16 referem-se às operações de reciclagem mecânica de PET (*Reclaimer Operations*). Os dados utilizados na LCI são valores médios ponderados referentes a quatro empresas americanas de reciclagem de PET que transformam o material pós-consumo em escamas (*flakes*). O quadro 5.2 apresenta um resumo das **entradas e saídas** referentes ao processamento de 454 kg (1000 *pounds*) de escamas de PET reciclado.

Indicadores	Valor e unidade	Valores convertidos e/ou ponderados
Electricidade	208 kWh	458 kWh/t
Consumo de água	47,3 gal	0,4 m <sup>3</sup> /t
Resíduos para aterro	220 lb	220 kg/t

**Quadro 5.2: Dados do processamento de escamas de PET reciclado, extraídos da tabela 2-9 do relatório *Life cycle inventory of 100% postconsumer HDPE and PET recycled resin from postconsumer containers and packaging* (Franklin Associates, 2010)**

A comparação dos valores do quadro 5.2 com os dados relativos do processo de Lavagem português (quadro 5.3), calculados a partir dos dados da figura III.2, do anexo III, permite verificar que o consumo de electricidade do processo português é 53,5 % inferior ao das empresas americanas. No entanto, o consumo de água é aproximadamente 23 vezes superior e a saída de resíduos é aproximadamente 15 % superior ao do estudo americano.

Indicadores	Valor e unidade
Electricidade	213 kwh/t
Consumo de água	9 m3/t
Resíduos para aterro	258 kg/t

**Quadro 5.3: Valores relativos do processo de Lavagem português, calculados a partir dos dados da figura III.2, do anexo III.**

No ponto 3.5 referiu-se que a energia necessária para converter 1000 libras de escama de PET (*flakes*) em grânulos (*pellets*) é de 218 kWh, o que corresponde a 480 kWh/t. Comparando este valor com o processo de extrusão da empresa em estudo (figura III.3 do anexo III) o qual apresenta um valor ponderado de energia eléctrica de 305 kWh/t, verifica-se que os processos de reciclagem norte-americanos são em média 58 % mais consumidores de electricidade do que o processo utilizado em Portugal.

## CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A comparação dos dados de consumo energético do processo de reciclagem mecânica existente em Portugal com os dados da Alemanha (ponto 5.5.9.1) permitiu verificar que os consumos de electricidade são da mesma ordem de grandeza. Do mesmo modo, a comparação dos processos de Lavagem e Extrusão com o estudo científico realizado nos EUA pela *Franklin Associates* (ponto 5.5.9.2), mostrou que o processo português consome menos energia eléctrica que a média dos processos americanos. Como a energia eléctrica usada no processo de reciclagem português é produzida por co-geração considera-se que o impacte ambiental é menos negativo. Como se sabe, as emissões resultantes da combustão do gás natural são inferiores às do processo de produção com carvão. Não obstante, a empresa poderia estudar a possibilidade de utilizar energia solar fotovoltaica, através da instalação de painéis solares. Deste modo, a quantidade de energia eléctrica adquirida à rede diminuirá, bem como as emissões já que a energia solar não emite gases nocivos.

Tal como referido nos pontos 5.5.2, 5.5.2.1 e 5.5.8 do capítulo 5 e demonstrado nos balanços de massa (Anexo III, figuras III.1 e III.2), o processo de reciclagem mecânica português consome muita água. A comparação deste aspecto ambiental com os estudos alemão e norte-americano referidos nos pontos 5.5.9.1 e 5.5.9.2 respectivamente, comprovou que o processo de reciclagem mecânica usado em Portugal utiliza bastante mais água que aqueles processos. No entanto, 96,5 % dessa água é recirculada, sendo que a água residual que segue para a ETAR corresponde apenas a 3,5 % das saídas deste recurso.

A diminuição dos resíduos conduziria a maior eficiência do processo de reciclagem mecânica português, porém essa redução não é facilmente controlável pela empresa. Uma diminuição de resíduos assinalável só seria possível através da colaboração entre os vários intervenientes na cadeia de produção e recolha das garrafas de PET, pela diminuição dos contaminantes existentes, nomeadamente, alteração dos níveis de pigmentação das garrafas, tamanho e coloração dos rótulos, alteração do material utilizado nos rótulos, quantidade e tipo de colas. Não obstante, a empresa poderia apostar numa melhor triagem efectuada numa etapa inicial do processo. Essa melhoria poderia ser obtida pela aquisição e instalação de equipamentos mais sofisticados de selecção de cores, nomeadamente máquinas de alta resolução para separação cromática pelas tecnologias visível e



infravermelho, passíveis de satisfazer as capacidades de processamento de pequenos e grandes processadores.

Todavia é importante salientar que nesta análise se optou por não distribuir as cargas ambientais pelos produtos intermédios e sub-produtos, afectando-as apenas ao produto principal. Por outro lado, também se desconhece a metodologia utilizada nos estudos da Alemanha e Norte-Americano em relação à afectação das cargas, ou seja, se apenas foi feita em relação ao produto principal ou não.

O processo de reciclagem mecânica português requer a utilização de grandes quantidades de ar ambiente na forma de ar comprimido. No entanto, a empresa não efectua a caracterização e a quantificação das emissões do ar, que correspondem a 70,5 % das saídas do processo. Para que fosse possível identificar e quantificar os compostos presentes no vapor contaminado seria necessário efectuar uma análise a variadíssimos parâmetros, na medida em que se desconhecem os compostos misturados com o ar, os quais podem ser muitos e provenientes de diversas fontes, tais como contaminantes das garrafas, das colas, dos rótulos, das tintas, produtos de reacções químicas que possam ocorrer devido à exposição a temperatura.

Com base nos resultados deste estudo a empresa tem agora informação suficiente para iniciar uma avaliação de desempenho ambiental e estabelecer indicadores de desempenho operacional e de gestão.

De modo a ir de encontro ao sexto programa comunitário de acção em matéria de ambiente “Ambiente 2010: o nosso futuro, a nossa escolha”, e mais concretamente à estratégia temática sobre a utilização sustentável dos recursos naturais recomenda-se que a empresa estude outros métodos de lavagem e avalie a possibilidade de investir em novas tecnologias de modo a diminuir os consumos do recurso água e da energia e possa também otimizar a saída do produto principal, escama e/ou grânulos de PET.

O estudo do processo de reciclagem mecânica português usando o software de análise de fluxos UMBERTO® vai de encontro à estratégia temática de prevenção e reciclagem de resíduos, a qual prevê que a redução dos impactes deve aplicar-se a todo o ciclo de vida dos recursos e dos resíduos e prevê ainda o reforço dos conhecimentos sobre o impacte da utilização dos recursos na produção e gestão de resíduos por recurso a modelizações. Se todas as fases da cadeia de valor das garrafas de águas e bebidas carbonatadas de PET forem analisadas em termos dos seus fluxos, se forem estabelecidos e monitorizados indicadores de desempenho e forem efectuadas optimizações aos processos, está a contribuir-se para a redução dos impactes negativos.

Na biblioteca do software UMBERTO<sup>®</sup> não estão disponíveis dados de outros processos de reciclagem mecânica que permitam a comparação com o presente estudo. Existe, portanto, a necessidade de aplicação deste tipo de análises de fluxos a mais processos/empresas do mesmo tipo para averiguar os pontos fortes e fracos de cada método e para efectuar *benchmarking*, na senda da melhoria contínua. O Centro Europeu de Reciclagem que a UE pretende criar (VERC: *Virtual European Recycling Center*, projecto P8\_VERC) poderá ser uma forma de colmatar esta lacuna, na medida em que o objectivo deste centro é prestar serviços a todos os agentes de reciclagem em toda a Europa usando principalmente os avanços mais recentes em tecnologias de informação e comunicação. Outro bom instrumento poderá ser a utilização do indicador ambiental para as embalagens, o PEI – *Packaging Environmental Indicator*, uma vez que a sua utilização visa a disponibilização de orientações às empresas utilizando abordagens de ciclo de vida. A informação resultante do PEI poderá ser utilizada pelas empresas para a formulação de indicadores de desempenho ambiental, tanto de gestão como operacionais. O PEI juntamente com os indicadores do estado do ambiente (IEA) auxiliarão as empresas a compreender melhor os impactes dos seus aspectos ambientais e auxiliarão o planeamento e a implementação da avaliação do desempenho ambiental.

## CAPÍTULO 7 – CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

A modelação do processo de reciclagem mecânica português com recurso ao software UMBERTO® permitiu verificar os pontos cruciais ou *hotspots* deste processo, que são o consumo de água e os resíduos. Embora estes dois indicadores apresentem valores elevados por comparação com os casos reportados (processo alemão e estudo americano) pode considerar-se que o processo de reciclagem mecânica português inclui preocupações de sustentabilidade nos aspectos que recaem sob a sua esfera de decisão. De facto, o impacte do consumo de água é mitigado pela sua recirculação e os aspectos mais sensíveis na gestão dos resíduos estão associados às etapas que ocorrem a montante do processo, nomeadamente a triagem de resíduos efectuada nos Centros de Triagem.

Todavia, o processo desta empresa pode ainda ser melhorado através do investimento noutros métodos de lavagem e em novas tecnologias para diminuir os consumos de água e de energia, de modo a ir de encontro aos requisitos do sexto programa comunitário de acção em matéria de ambiente "Ambiente 2010: o nosso futuro, a nossa escolha", e mais concretamente à estratégia temática sobre a utilização sustentável dos recursos naturais.

O processo de reciclagem mecânica português está em linha com a estratégia temática de prevenção e reciclagem de resíduos na medida em que efectua um tipo de tratamento mecânico às garrafas de PET que permitem a utilização do produto resultante (escamas ou grânulos de PET) em aplicações alimentares, tais como no processo de fabrico de novas garrafas (*bottle-to-bottle*) e na produção de filmes/chapas de PET multicamada, utilizando o PET reciclado na camada interna. Esta é uma forma de reintroduzir os resíduos no ciclo económico, sob a forma de produtos de qualidade, poupando recursos e reduzindo as emissões de gases de efeito de estufa.

Em termos de perspectivas futuras, considera-se que este estudo poderia ser complementarizado pela integração de dados de custo na avaliação do processo de reciclagem mecânica, usando a componente de contabilidade de custos do UMBERTO®, o que acrescentaria uma vertente económica aos aspectos ambientais e técnicos, que é fundamental na tomada de decisões.

Outro desenvolvimento futuro pode passar pela comparação deste processo de reciclagem mecânica com o existente noutras empresas ou países da União Europeia, através da utilização do software UMBERTO®, a qual reforçaria a avaliação comparativa da eficácia e

eficiência de cada método e a sua maior ou menor convergência com as políticas ambientais europeias.

Tal como referiram Dullius et al. (2006), o desenvolvimento de novas tecnologias de reciclagem e a sua melhor compreensão vão permitir o aumento do consumo de PET reciclado conferindo-lhe maior valor acrescentado e a redução do impacte ambiental. Uma vez que no parque industrial onde se localiza a empresa estudada existe uma unidade produtiva dedicada ao fabrico da resina PET parece existir uma oportunidade para explorar outras formas de reciclagem, nomeadamente a reciclagem química.

Contudo, os processos de reciclagem química de PET já existentes não são vantajosos porque requerem vários passos de purificação, como sendo, a lavagem, destilação, cristalização e reacções químicas adicionais (Brownscome et al., 1996; Macromolecular Symposia, 1998; Sako et al, 2000). Assim, o custo efectivo dos monómeros reciclados aumenta drasticamente. Por outro lado, são processos descontínuos que requerem tempos de reacção longos a pressões elevadas para que a despolimerização ocorra. Tal obriga a um aumento do investimento para a instalação de uma unidade de reciclagem química (Maia, 2004). No entanto, existem já novas alternativas a este processo de quimólise de PET como o que está a ser desenvolvido pelo Instituto de Polímeros e Compósitos da Universidade do Minho em parceria com a *North Carolina State University*, o qual é um novo método de reciclagem química em contínuo usando CO<sub>2</sub> supercrítico. Este é um processo de despolimerização num só passo que permite recuperar monómeros e oligómeros puros para posterior re-polimerização.

Se este tipo de reciclagem for economicamente viável, será uma ferramenta interessante de prevenção da poluição e contribuirá para a sustentabilidade.

O estudo dos aspectos ambientais e económicos deste novo processo de reciclagem química comparando com a reciclagem mecânica seria bastante interessante pois, se ficar provado que este processo de reciclagem química pode ser uma actividade auto-sustentada, podem ser exploradas economias de escala, contribuindo assim para o funcionamento dos mercados e para alcançar rapidamente as metas estabelecidas na legislação ambiental.

## BIBLIOGRAFIA

Al-Salem, S., Lettieri, P., Baeyens, J. (2010). The valorization of plastic solid waste (PSW) by primary to quaternary routes: From re-use to energy and chemicals. *Progress in Energy and Combustion Science*, 36, 103–129.

Azapagic, A., Perdan, S. (2000). Indicators of sustainable development for industry: a general framework. *Transactions - Institute of Chemical Engineers (Process Safety and Environmental Protection)* 78(B4), 243–261.

Awaja, F., Pavel, D. (2005). Recycling of PET. *European Polymer Journal* 41, 1453–1477.

Bennett, M., James, P. (1997). *Environment-Related Performance Measurement: Current Practice and Trends*. Ashridge: Ashridge Management College.

Begley, T.H. and Hollifield, H.C. (1993), *Food Technology*, 109.

Besnoin, J.M., Choi, K.Y. (1989). Identification and Characterization of Reaction Byproducts in the Polymerization of Polyethylene Terephthalate. *JMS-REV. Macromol. Chem. Phys.*, C29(1), 55-8.

Boletim Estatístico Interfileiras nº 2, (Outubro 2009).

Brandrup, J. (1992).; *Makromol. Chem.*; *Macromol. Symp.* 57, 57.

Brandrup, J., Bittner, M., Michaeli, W., Menges, G. (1996), *Recycling and recovery of Plastics*. Willenberg, B., ed. Hanser Publishers, Alemanha, 893 p.

BREF (2007), *Reference Document on Best Available Techniques in the Production of Polymers*, European Commission.

Brognoli, R. (2006), *Desenvolvimento da Qualidade na Reciclagem de Plásticos*. SBRT – Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, Brasil.

Brownscome, F. et. al. (1996), *Patent Shell Oil Company US 436078*.

Camel, V. (1998). Supercritical fluid extraction as a useful method for pesticides determination. *Analisis Magazine*, 26:M99.

Campos, L., Melo, D. (2008). Indicadores de desempenho dos Sistemas de Gestão Ambiental (SGA): uma pesquisa teórica. *Produção*, v. 18, n. 3, p. 540-555.

CEIFA ambiente, Centro de Estudos, Informação e Formação para o Ambiente, Lda, (2006). *Formação Inicial – Software UMBERTO*.

C. Jasch, *Environmental and Material Flow Cost Accounting* (2009). Principles and Procedures, *Eco-Efficiency in Industry and Science*, Springer Science + Business Media B.V., volume 25, capítulo IV, pág. 49.

Chaudot, X., Tambuté, A. Caude, M. (1996). L'Extraction en Phase Supercritique: Un Nouvel Outil Analytique Performant Pour le Traitement de L'échantillon. *Analisis*, 25: 81.

Chester, T., Pinkston, J., Raynie, D. (1998). Supercritical fluid chromatography and extraction. *Anal. Chem.* 70, p. 301R.

Commoner, B. (1997). The relation between Industrial and Ecological Systems. *J. Cleaner Prod.*, 5(1-2), 125.

Comunicação da Comissão ao Conselho, ao Parlamento Europeu, ao Comité Económico e Social e ao Comité das Regiões, de 24 de Janeiro de 2001, relativa ao sexto programa comunitário de acção em matéria de ambiente “Ambiente 2010: o nosso futuro, a nossa escolha”, [COM (2001) 0031].

Comunicação da Comissão, de 21 de Dezembro de 2005, intitulada: “Estratégia temática sobre a utilização sustentável dos recursos naturais”, [COM (2005) 670].

Comunicação da Comissão, de 21 de Dezembro de 2005, intitulada: “Avançar para uma utilização sustentável dos recursos: Estratégia temática de prevenção e reciclagem de resíduos”, [COM (2005) 0666].

Conferência de Copenhaga - 15ª Conferência das Partes (COP 15) da Convenção-Quadro para as alterações climáticas.

CORAL, E. (2002). Modelo de planeamento estratégico para a sustentabilidade empresarial. 275 f. Tese. Florianópolis: Engenharia da Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, 159.

Cui, J., Forssberg, E. (2003). Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review. *Journal of Hazardous Materials B99*, 243-263.

Davy, B. (1997), *Essential Injustice: when legal institutions cannot resolve environmental and land use disputes*. Springer - Verlag, Wien/New York.

Decisão 2002/358/CE do Conselho, de 25 de Abril de 2002, relativa a aprovação, em nome da Comunidade Europeia, do Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as alterações climáticas e ao cumprimento conjunto dos respectivos compromissos.

Decreto-Lei nº 366-A/97 de 20 de Dezembro – Gestão de embalagens e resíduos de embalagens.

Decreto-Lei nº 407/98 de 21 de Dezembro – Requisitos essenciais relativos à composição das embalagens e níveis de concentração de metais pesados nas embalagens.

Decreto-Lei nº 162/2000 de 27 de Julho – Gestão de embalagens e resíduos de embalagens.

Decreto-Lei nº 152/2002 de 23 de Maio – Deposição de resíduos em aterros.

Decreto-Lei nº 233/2004 de 14 de Dezembro – Comércio de licenças de emissão de gases com efeito de estufa.

Decreto-Lei nº 92/2006, de 25 de Maio – Gestão de embalagens e resíduos de embalagens.

Decreto-Lei nº 178/2006 de 5 de Setembro – Lei - Quadro dos resíduos.

Decreto-Lei nº 173/2008 de 26 de Agosto – Prevenção e controlo integrados da poluição.

Decreto-Lei nº 154/2009, de 6 de Julho – Comércio de licenças de emissão de gases com efeito de estufa.

Deng, H., Zhang, R., Reynolds, C.T., Bilotti, E., Peijs, T., (2003). *Macromolecular Materials and Engineering*. Wiley-VCH, pp. 288, 326-336.

Directiva 94/62/CE, de 20 de Dezembro de 1994, do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa às embalagens e aos resíduos de embalagens.

Directiva 1999/31/CE do Conselho, de 26 de Abril de 1999, relativa à deposição de resíduos em aterro.

Directiva 2003/87/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 13 de Outubro de 2003, relativa à criação de um regime de comércio de licenças de emissão de gases com efeito de estufa na Comunidade e que altera a Directiva 96/61/CE do Conselho.

Directiva 2004/101/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 7 de Outubro de 2004, que altera a Directiva 2003/87/CE relativa à criação de um regime de comércio de licenças de emissão de gases com efeito de estufa na Comunidade, no que diz respeito aos mecanismos baseados em projectos do Protocolo de Quioto.

Directiva 2006/12/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril de 2006, relativa aos resíduos.

Directiva 2006/121/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 18 de Dezembro de 2006, que altera a Directiva 67/548/CEE do Conselho, relativa a aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas respeitantes à classificação, embalagem e rotulagem das substâncias perigosas, a fim de a adaptar ao Regulamento (CE) nº 1907/2006, relativa ao registo, avaliação, autorização e restrição de substâncias químicas (REACH) e que cria a Agência Europeia das Substâncias Químicas.

Directiva 2008/1/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 15 de Janeiro de 2008, relativa à prevenção e controlo integrados da poluição.

Directiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro de 2008, relativa aos resíduos.

Dullius, J., Ruecker, C., Oliveira, V., Ligabue, R., Einloft, S. (2006). Chemical recycling of post-consumer PET: Alkyd resins synthesis., Progress in Organic Coatings, volume 57, issue 2, pág. 123-127

EMPA – Swiss Federal Laboratories for materials testing and research, (2003); Sustec – Sustainable Technology Cooperation.

EPA (1995), Introduction to Environmental Accounting. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.



"EUROPA", portal da União Europeia na Internet, (2003). Biointeligência e O<sub>2</sub> para a Comissão Europeia. Estudo sobre os efeitos ambientais externos relacionados com o ciclo de vida dos produtos e serviços, pág. 91

Edge M., Hayes M., Mohammadian M., Allen S., Jewitt S., Brems K., Jones K. (1991). Aspects of poly(ethylene terephthalate) degradation for archival life and environmental degradation. *Polym Degrad Stab.* 32(2), pág. 53–131.

Ehrig, R. J., Curry, M. J. *Plastics recycling: products and processes.* Ehrig, R. J., ed.; Oxford University Press: New York, 1992.

European Environment Agency, (2008). Produção de resíduos de embalagem per capita e por país. (Generation and recycling of packaging waste (CSI 017)).

European Environment Agency, (2010). Produção de resíduos de embalagem per capita e por país. (Generation and recycling of packaging waste (CSI 017)).

Eurostat, (2009). O desenvolvimento sustentável na União Europeia, Relatório de acompanhamento sobre a estratégia de desenvolvimento sustentável da UE.

Fradet, A., Tessier, M. In: M.E. Rogers and T.E. Long, Editors, (2003). *Synthetic Methods in Step-Growth Polymers*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, p.17.

Franklin Associates, a Division of Eastern Research Group, prepared for the Plastics Division of the American Chemistry Council, INC., (2010). *Life Cycle Inventory of 100% Postconsumer HDPE and PET Recycled Resin From Postconsumer Containers and Packaging*, Kansas, USA.

Franklin Associates, a Division of Eastern Research Group, prepared for PET Resin Association, (2007). *LCI Summary For PLA and PET 12-ounce Water Bottles*, Kansas, USA.

Genta, M., Yano, F., Kondo, Y., Matsubara, W., Oomoto, S. (2003). Development of chemical recycling process for post-consumer PET bottles by methanolysis in supercritical methanol. *Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Technical Review*, vol 40 extra nº 1.

Goje, A.S., Mishra, S. (2003). Chemical Kinetics, Simulation, and Thermodynamics of Glycolytic Depolymerization of Poly(ethylene terephthalate) waste with catalyst optimization for recycling of value added monomeric products. *Macromolecular Materials and Engineering*, 288, 336-326.

Gorni, A.A. (2000). Recursos Básicos sobre Plásticos e Polímeros. Revista Plástico Industrial, 61 - 48.

Gottesman T. (1992). Separation of poly(vinyl chloride) from poly(ethylene terephthalate) and other plastics using automatic sortation devices. Makromol Chem, Macromol Symp, 57, 133–43.

Güçlü, G., Yalçinyuva, T., Özgümü, S., Orbay M. (2003). Hydrolysis of waste polyethylene terephthalate and characterization of products by differential scanning calorimetry. Thermochemica Acta 404 (2003) 193–205.

Hermann, B., Kroeze, C., Jawjit, W. (2007). Assessing environmental performance by combining life cycle assessment, multi-criteria analysis and environmental performance indicators. Journal of Cleaner Production 15, 1787 - 1796.

IFEU - Institut für Energieund Umweltforschung Heidelberg GmbH, (2010). Eco-profiles of the European Plastics Manufacturers, Polyethylene Terephthalate (PET), bottle grade. Commissioned by PlasticsEurope.

ILSI -International Life Sciences Institute (Brussels, July 2000). Europe Packaging Materials Task Force Report on Packaging Materials:1-Polyethylene Terephthalate (PET) for food packaging applications.

Jasch, C. (2000). Environmental performance evaluation and indicators. Journal of Cleaner Production 8, 79-88.

Kirshenbaum, G., Freed, W., Dong, M., Carano, J. (1979). Org. Coat. Plast. Chem., 41, 324.

Konkol, L. (2004). Contaminant Levels in recycled PET plastics. Tese de doutoramento. Victoria, Austrália: Swinburne University of Technology.

Kazarian, S., Brantley, N., Eckert, C. (1999). Applications of vibrational spectroscopy to characterize poly(ethylene terephthalate) processed with supercritical CO<sub>2</sub>. Vibrational Spectroscopy 19 (1999) 277-283, Elsevier.

Letras, M. (2008). Reciclagem de plásticos: Identificação de contaminantes e estratégias de valorização dos resíduos industriais. Tese de mestrado. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Lin, C. (1998), Macromolecular Symposia, 135, 135-129.

Lista Europeia de Resíduos (LER)

Livro Verde, de 7 de Fevereiro de 2001, sobre a política integrada relativa aos produtos, apresentado pela Comissão, [COM (2001) 68].

Mader, W. (1992). Makromol. Chem., Macromol. Symp., 57, 15.

Maia, J. (2004). RECPET – Prevenção da poluição na fonte através da despolimerização contínua de poli(tereftalato de etileno), projecto POCI/AMB/59870/2004, Instituto de Polímeros e Compósitos, Universidade do Minho.

Mancini, D., Zanin, M. (2002). Polímeros: Cienc. Tecnol., 12, 34.

Manual de Produção da Selenis Ambiente. (2004). Unidade de Lavagem – L-UL-01, edição A, revisão 0.

Margon, V., Agarwal, U., Bailly, C., de Wit, G., van Kasteren, J., Lemstra, P. (2006). Supercritical carbon dioxide assisted extraction from the polycarbonate depolymerization mixture. The Journal of Supercritical Fluids. Volume 38, Issue 1, Pages 44-50.

Montenegro, R., Filha, D., Pan, S. (1996). Resina PET para recipientes. Brasil: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).

Norma NP EN ISO 14040:2005 - Gestão ambiental. Avaliação do ciclo de vida. Princípios e enquadramento.

Office of Premarket Approval, Center for Food Safety and Applied Nutrition (HFS-200). (1992). Food and Drug Administration: Washington, D.C., 1-8.

Patterson, J., Khan, S., Roberts, G. (2006). Melt Glycolysis of Poly(ethylene Terephthalate) using CO<sub>2</sub>-assisted extrusion. Chemical & Biomolecular Engineering, North Carolina State University, Raleigh, NC USA.

Pawlak A., Pluta M., Morawiec J., Galeski A., Pracella M. (2000). Characterization of scrap poly(ethylene terephthalate). Eur Polym J, 36, 1875 – 84.

PETCORE Newsletter (2000), 2, 1-4.

Plano Estratégico dos Resíduos Industriais (PESGRI).

Plastics Europe – Association of Plastic Manufactures, (2008). The Compelling Facts About Plastics 2009, An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2008, pág. 6.

Pouzada, A.S., Bernardo, C.A., (1983). Introdução à Engenharia de Polímeros, Universidade do Minho, Braga.

Jardim, I., Pinto, G., Pinto, J. (2006). Extração com Fluido Supercrítico. Chemkeys.

Reid, C., Prausnitz, M., Poling, E. (1987). The Properties of Gases and Liquids. McGraw-Hill, New York, p. 741.

Ramjeawon, T., Foolmaun, R., (2008). Life Cycle Assessment (LCA) of PET bottles and comparative LCA of three disposal options in Mauritius. Int. J. Environment and Waste Management, vol.2, nº 1/2.

Regulamento (CE) nº 1907/2006 relativo ao registo, avaliação, autorização e restrição dos produtos químicos (*Reach*) que cria a Agência Europeia dos Produtos Químicos, que altera a Directiva 1999/45/CE e revoga o Regulamento (CEE) nº 793/93 do Conselho e o Regulamento (CE) nº 1488/94 da Comissão, bem como a Directiva 76/769/CEE do Conselho e as Directivas 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE e 2000/21/CE da Comissão.

Relatório da Comissão ao Conselho e ao Parlamento Europeu sobre a aplicação da Directiva 94/62/CE, relativa a embalagens e resíduos de embalagens e seu impacto no ambiente, bem como sobre o funcionamento do mercado interno, [SEC (2006) 1579] /\* [COM (2006) 0767 final] \*/.

Remédio, P., Zanin, M., Teixeira, N. (1999) Polímeros: Ciênc. Tecnol, 9, 177.

Reunião dos Ministros do Ambiente do G8, Kobe, Japão 2008 (*Kobe Environment Ministers Meeting* 2008).

Revista “Recicla”, nº 6, ano 2 (Novembro, Dezembro e Janeiro, 2006), pág. 7.

Revista Recicla, nº 9 (Setembro, Outubro, Novembro 2006). Packaging Recovery Organisation Europe, “Green Dot 2006: a sucessful path to environmental citizenship”, 3º Congresso Internacional da Pro Europe.

Revista “Recicla”, nº 10, ano 3, (Dezembro, Janeiro e Fevereiro 2007), pág. 12.

Revista “Recicla”, nº 12, (Julho, Agosto e Setembro de 2007), pág. 26.

Revista “Recicla”, nº 14, (Janeiro, Fevereiro e Março 2008), pág. 22.

Revista “Recicla”, nº 18, (Janeiro, Fevereiro e Março 2009), pág. 21.

Rikhardsson, M (1996). Information systems for corporate environmental management accounting and performance measurement. Sustainable measures: evaluation and reporting of environmental and social performance. Sheffield: Greenleaf Publication, p.132–50.

Rodrigues, F., Thiago, L. (2008). Manual de Indicadores Ambientais. Rio de Janeiro: DIM/GTM. Sistema FIRJAN, Divisão de documentação – Biblioteca.

Sako, T., et al. (2000). Polymer Journal, 32, 178-181.

Santos, A.S.F., Teixeira, B.A.N., Agnelli, J.A.M, Manrich, S., (2005). Characterization of effluents through a typical plastic recycling process: An evaluation of cleaning performance and environmental pollution. Resources, Conservation and Recycling, 45, 159–171.

Sarvestani, A. (2005), Outlook for Biobased Plastics in Retail. Frankfurt: Bioplastics Conference, European Plastics News.

Schaltegger, S. and Burritt, R. (2000), Contemporary Environmental Accounting. Sheffield: Greenleaf.

Schaltegger, S., Wagner, M. (2006). Integrative management of sustainability performance, measurement and reporting, International Journal of Accounting, Auditing and Performance Evaluation, Volume 3, Number 1, pág. 1 – 19.

Schaltegger, S., Wagner, M. (2005). Current trends in environmental cost accounting – and its interaction with ecoefficiency performance measurement and indicators. Centre for Sustainability Management, University of Lueneburg, Germany. SpringerLink.

Selenis Ambiente (2003). Manual de Produção da Selenis Ambiente (MP05), edição B, revisão 1.

Selenis Ambiente (2004). Manual de Produção – Unidade de Lavagem (L-UL-01), edição A, revisão 0.

Selenis Ambiente (2004). Manual de Produção – Unidade de Extrusão (L-UE-01), edição A, revisão 0.

Selenis Ambiente (2005). Manual de Produção – Controlo do Processo de Lavagem (L-GE-04), edição B, revisão 0.

Selenis Ambiente (2005). Manual de Produção – Controlo do Processo de Extrusão (L-GE-05), edição A, revisão 1.

Selenis, (2005). Publicação Interna.

Silva, P.G.dos S. (2002), Inovação ambiental na gestão de embalagens de bebidas em Portugal, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, pág. 151.

Silva, T. de C., Miranda, L. F. (2003). Estudo comparativo das propriedades do poli(tereftalato de etileno) virgem e reciclado. Universidade Mackenzie, Departamento de Engenharia de Materiais, São Paulo.

Silva, T., Liberal, M., Pessoa, P. (1997). Uso do fluido supercrítico na extração de produtos naturais. Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos- SBCTA, v.31, p.48-61.

Sino, M.A. (2003). *Plástico Moderno* 8, pág. 8–12.

Skoog, A., Leary, J. (1995). Principles of Instrumental Analysis. 4th ed., Saunders College Publishing, Philadelphia, p. 670-671.

Socantaype, F. (1996). Dissertação de Mestrado: Remoção de colesterol e Fracionamento do Óleo de Manteiga com Etano Supercrítico. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, p. 2,3, 7-17.

Spinacé, M.A.S., De Paoli, M.A. (2005), A Tecnologia da Reciclagem de Polimeros. Química Nova, vol. 28, nº 1, pag. 65-72.

Tabernero, A., del Valle, E., Galán, M. (2010). A comparison between semiempirical equations to predict the solubility of pharmaceutical compounds in supercritical carbon dioxide. The Journal of Supercritical Fluids, 52, 161–174.

Tam, V., Tam, C., Zeng, S. Chan, K. (2006). Environmental performance measurement indicators in construction. Building and Environment 41, 164–173.

- Taylor, L., (1996). Supercritical fluid extraction. John Wiley & Sons, Inc, New York, pág. 181.
- Tukker, A. (2002). Plastics Waste – Feedstock recycling, chemical recycling and incineration. Rapra Polymer Library, 110.
- Departamento de Físico-Química, Instituto de Química. (2005). Ciência e Tecnologia de microemulsões. Sistemas micelares e microemulsões em CO<sub>2</sub> supercrítico. Universidade Estadual de Campinas.
- van der Vegt, A.K., Govaert, L.E. (2002). Polymeren, van keten tot kunstof“, IBSN–90-407-2388-5.
- Vigon, B., Tolle, D., Cornary, B., Lathan, H., Harrison, C., Bouguski, T., Hunt, R., Sellers, J. Life Cycle Assessment: inventory guidelines and principles”, EPA/600/R-92/245, Cincinnati, U.S. Environmental Protection Agency, Risky Reduction Engineering Laboratory, 1993.
- Wagner, M. (2005). Environmental Performance and the Quality of Corporate Environmental Reports: The Role of Environmental Management Accounting, Springer Netherlands, capítulo 6, pág. 105-122.
- Yeo, S., Kiran, E. (2005). Formation of polymer particles with supercritical fluids: A review. The Journal of Supercritical Fluids, 34, 287–308.
- Young, C.W. and Rikhardsson, P.M. (1996), Environmental Performance Indicators for Business. Eco- Management and Auditing 3: 113-125.
- Young, W. and Welford, R. (1998), An Environmental Performance Management Framework for Business. Greener Management International 21: 30-49.
- Zougagh, M., Valcárel, A. (2004). Supercritical fluid extraction: a critical review of its analytical usefulness. Trends in Analytical Chemistry, 23: 399.

### **Sites consultados:**

Agência Portuguesa do Ambiente, Portugal: <http://www.apambiente.pt/> , consulta em 21-03-2010.

Acesso ao direito da União Europeia: <http://eur-lex.europa.eu>.

Bellis, M. (1998). Wallace Carothers - History of Nylon,  
<http://inventors.about.com/od/nstartinventions/a/nylon.htm>

Biointeligência e O<sub>2</sub> para a Comissão Europeia (2003). Estudo sobre os efeitos ambientais externos relacionados com o ciclo de vida dos produtos e serviços, pág. 91,  
[http://europa.eu.int/comm/environment/ipp/pdf/ext\\_effects\\_finalreport.pdf](http://europa.eu.int/comm/environment/ipp/pdf/ext_effects_finalreport.pdf).

15ª Conferência das Partes (COP15) da Convenção-Quadro para as Alterações Climáticas – Conferência de Copenhaga – <http://en.cop15.dk/>, consulta em 15-12-2009

Dantes website, projecto financiado pela EU - <http://www.dantes.info>, consulta em 21-02-2010.

EMPA – Swiss Federal Laboratories for materials testing and research, <http://www.empa.ch>, consulta em 26-11-2009.

EPA, United States Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/>

ENDS (2005). Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável. Aprovada pela Resolução de Conselho de Ministros n.º 109/2007 de 20 de Agosto. Acedido em 5 de Fevereiro de 2008, no web site: [www.desenvolvimentosustentavel.pt](http://www.desenvolvimentosustentavel.pt).

Europa, Summaries of EU legislation:  
[http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/general\\_provisions](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/general_provisions)

European Environment Agency, <http://www.eea.europa.eu/>, consulta 17/11/2009.

<http://www.gorni.eng.br>, consulta em 26-11-2009.

Indicadores de desenvolvimento sustentável -  
<http://ec.europa.eu/eurostat/sustainabledevelopment>, consulta em 16-02-2010.



Instituto Nacional de Estatística, Portugal: <http://www.ine.pt/>

Kraemer, M.E.P. (2004), Indicadores Ambientais como sistema de informação contábil. <http://www.gestiopolis.com>, consulta em 14-02-2010.

La Seda de Barcelona, [www.laseda.es/](http://www.laseda.es/), consulta em 23-10-2008.

Maxicor Iberia, <http://www.maxicoriberia.com/Previero.html>

Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior do Brasil, BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento: <http://www.bndes.gov.br>

Ministry of the Environment, Government of Japan - [www.env.go.jp](http://www.env.go.jp)

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development: <http://www.oecd.org/>

Pacia (2002), Pacia National Plastics Recycling Survey, <http://www.pacia.org.au>, consulta em 09-12-2009.

Petcore (PET containers recycling Europe), [www.petcore.org](http://www.petcore.org), consulta em 25-11-2009.

[www.plasticseurope.org](http://www.plasticseurope.org), consulta em 18/11/2009.

Plastval, <http://plastval.pt/>, consultas em 23-10-2008 e 25-11-2009.

Portal Português da Gestão de Resíduos, <http://www.netresiduos.com/pt/home.asp>

Portal da União Europeia,  
[http://europa.eu.int/comm/environment/ipp/pdf/ext\\_effects\\_finalreport.pdf](http://europa.eu.int/comm/environment/ipp/pdf/ext_effects_finalreport.pdf).

PRÉ, Product ecology consultants - <http://www.pre.nl/eco-indicator99>, consulta em 16-02-2010.

Previero, size reduction technology, [www.previero.it](http://www.previero.it)

Recicláveis – portal de reciclagem e meio ambiente - <http://www.reciclaveis.com.br/>, consulta em 07-02-2010

Sociedade Ponto Verde, [www.pontoverde.pt](http://www.pontoverde.pt), consulta em 25-11-2009.

Software UMBERTO, [www.ceifa-ambiente.net](http://www.ceifa-ambiente.net), consulta em 27-08-2007

Software UMBERTO, [www.UMBERTO.de](http://www.UMBERTO.de), consulta em 27-08-2007

Software solutions in the environmental and industrial ecology field, <http://www.ifu.com>, consulta em 27/08/2007

Sorema, plastic recycling systems, <http://www.sorema.it/>

Tocchetto, M. Desempenho Ambiental e Sustentabilidade, [http://ambientes.ambientebrasil.com.br/gestao/artigos/desempenho\\_ambiental\\_e\\_sustentabilidade.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/gestao/artigos/desempenho_ambiental_e_sustentabilidade.html), consulta em 21-02-2010.

United Nations Environment Programme - [www.unep.org/](http://www.unep.org/)

United Nations Framework Convention on Climate Change, <http://unfccc.int/>, consulta em 19-03-2010.

## ANEXOS

### ANEXO I – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE RECICLAGEM MECÂNICA

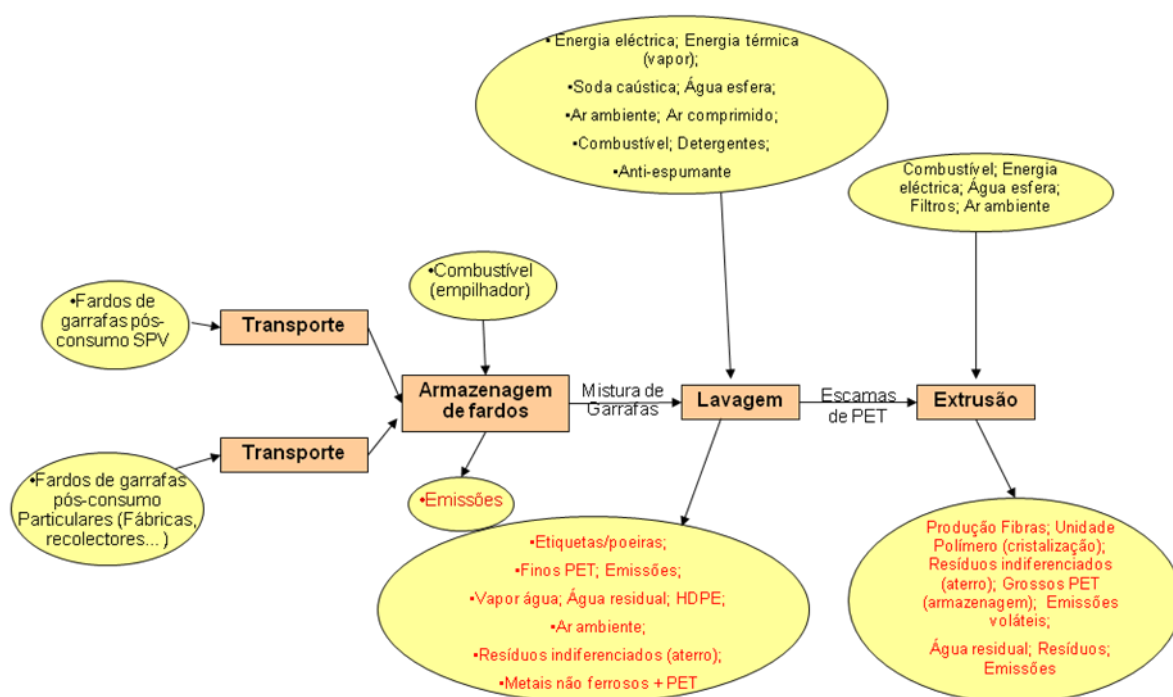


Figura I.1 – Macro-processo, 1º nível de rede

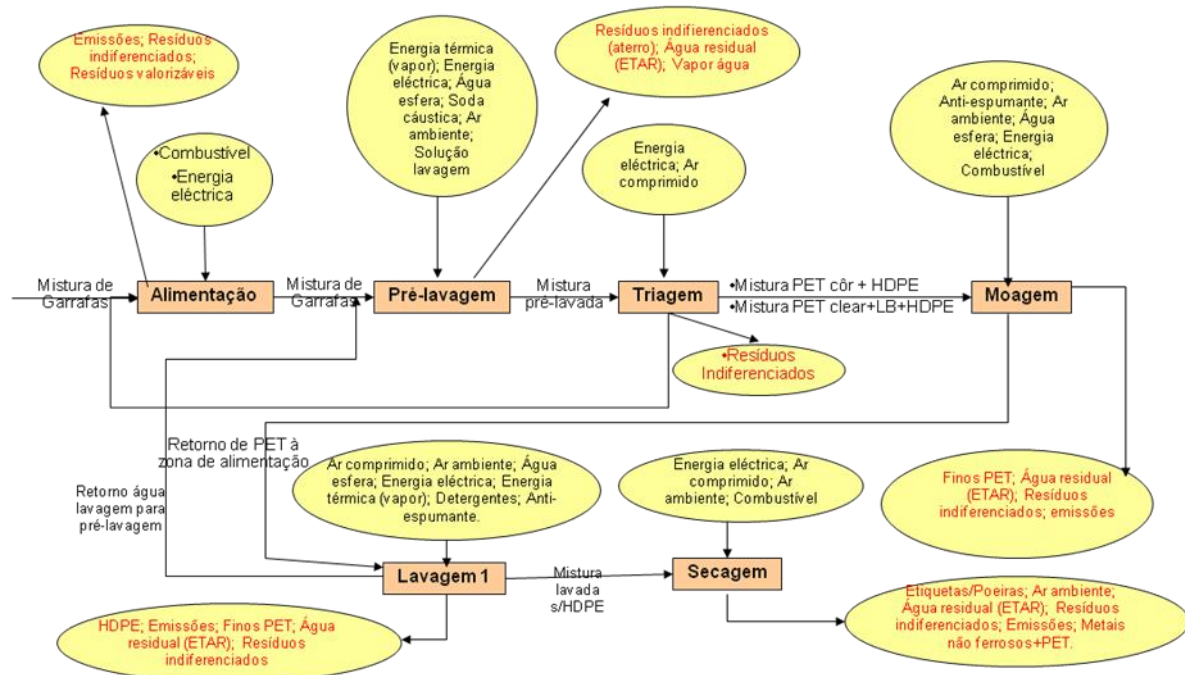


Figura I.2 – Micro-processo Lavagem, 2º nível de rede

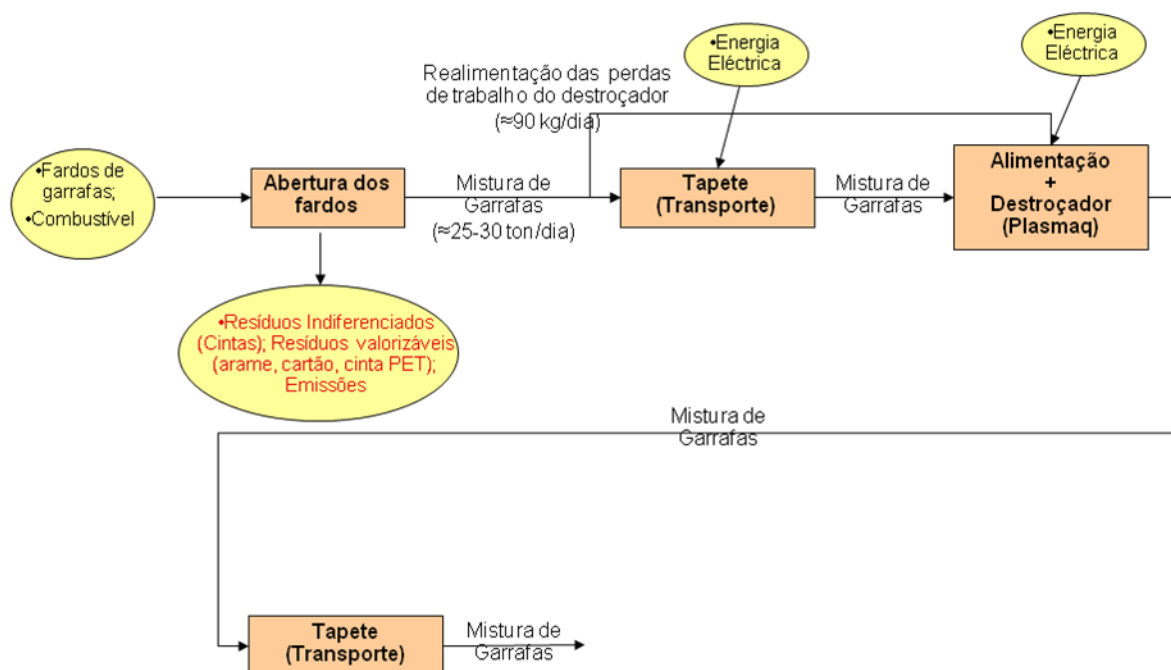


Figura I.3 – Processo Alimentação (micro-processo Lavagem), 3º nível de rede

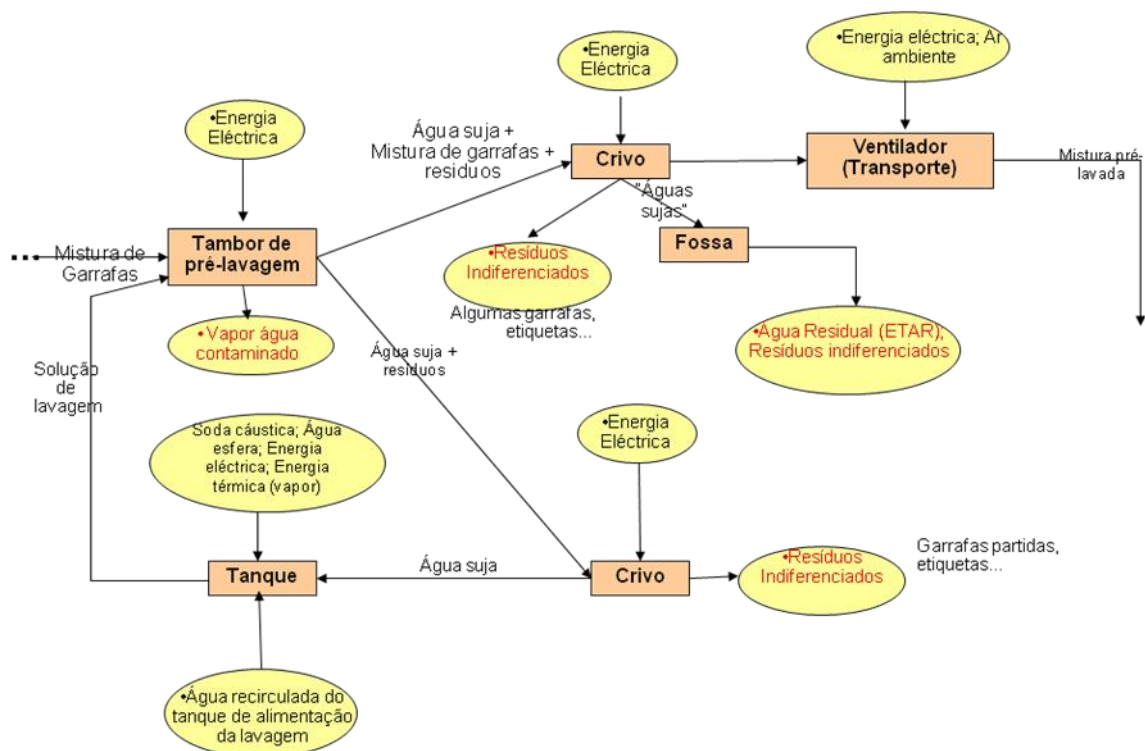


Figura I.4 – Processo Pré-lavagem (micro-processo Lavagem), 3º nível de rede

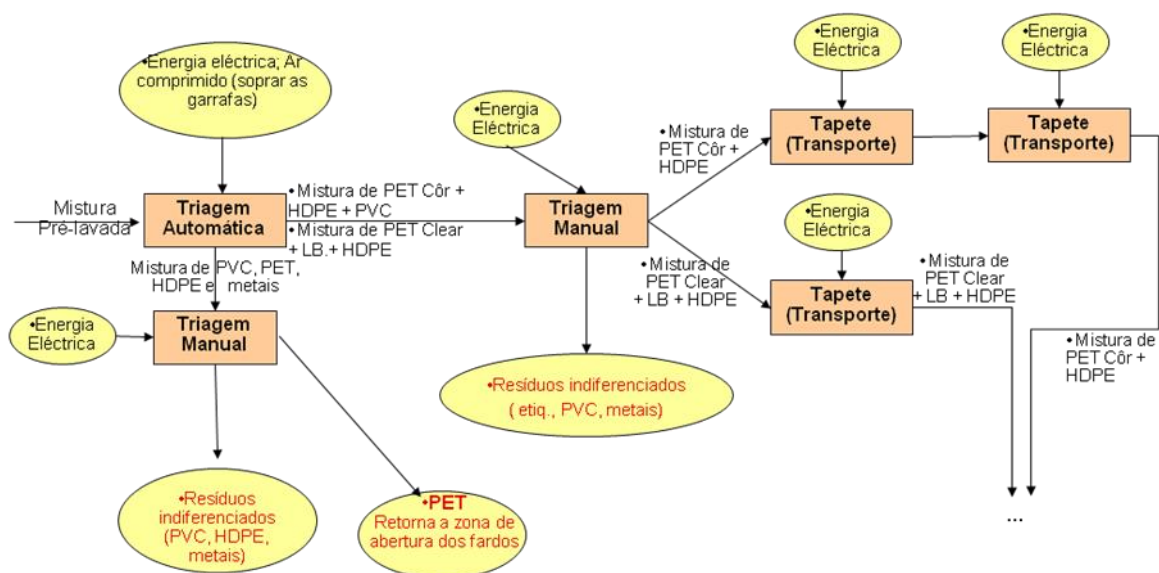


Figura I.5 – Processo Triagem (micro-processo Lavagem), 3º nível de rede

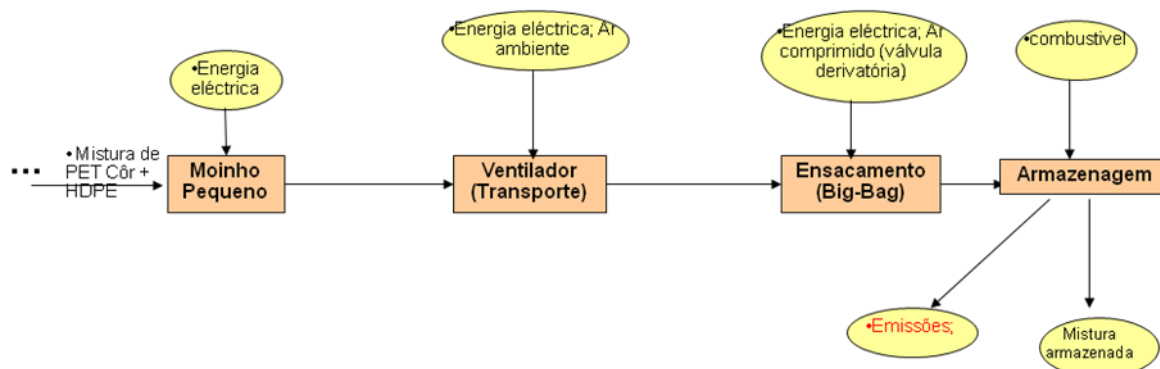


Figura I.6 – Processo Moagem, fluxo cor (micro-processo Lavagem), 3º nível de rede

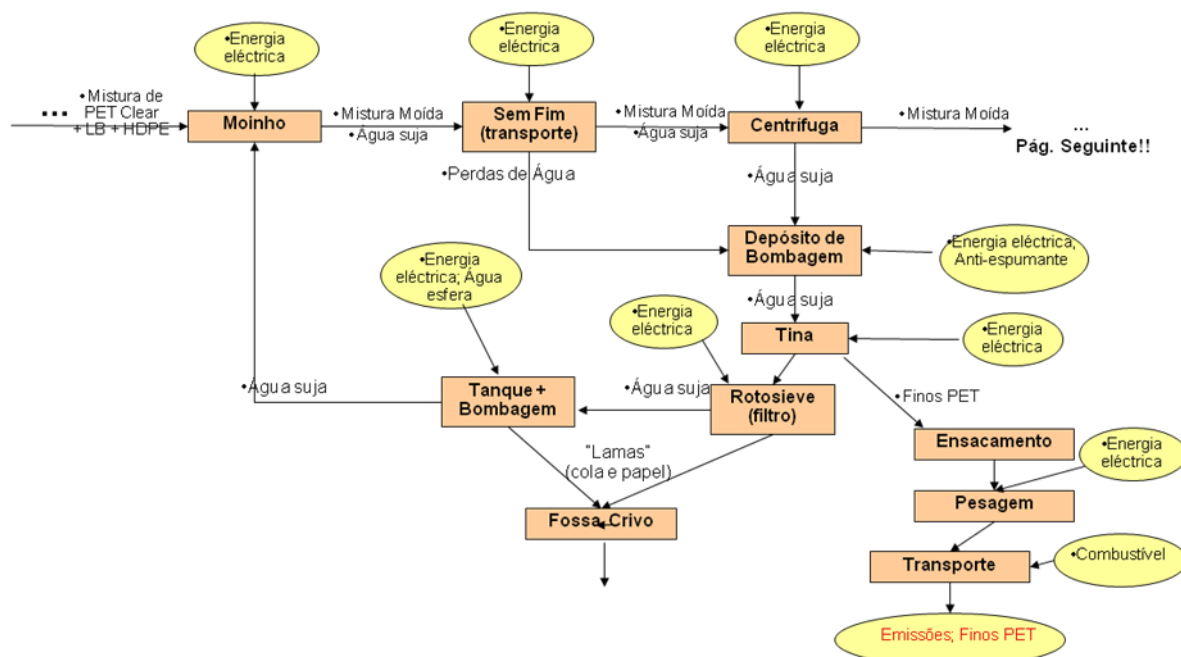


Figura I.7 – Processo Moagem, fluxo clear e light blue (micro-processo Lavagem), 3º nível de rede

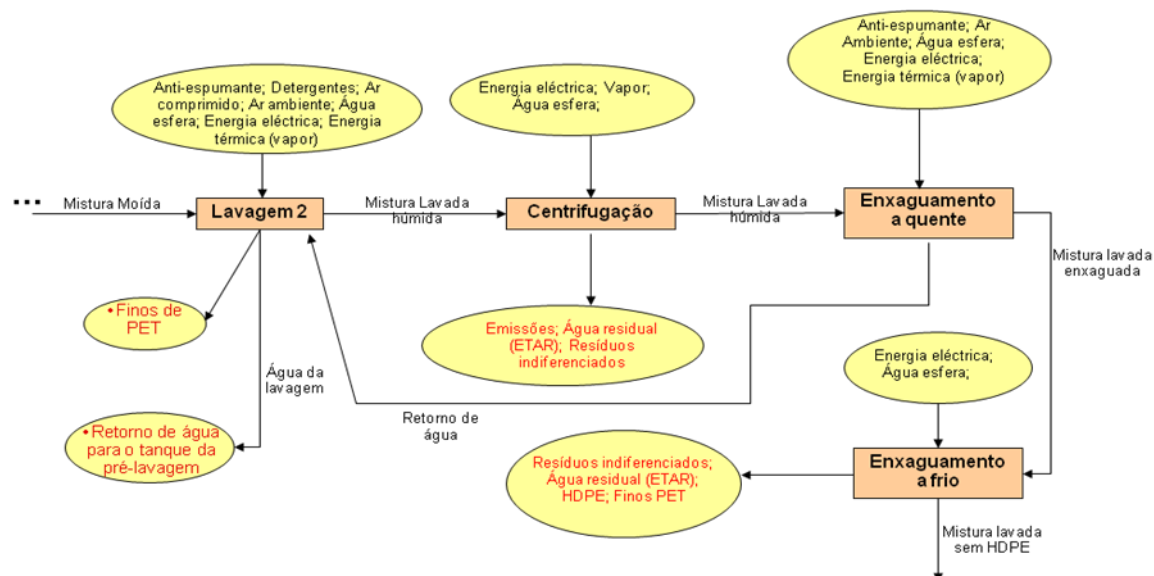


Figura I.8 – Processo Lavagem 1 (micro-processo Lavagem), 3º nível de rede

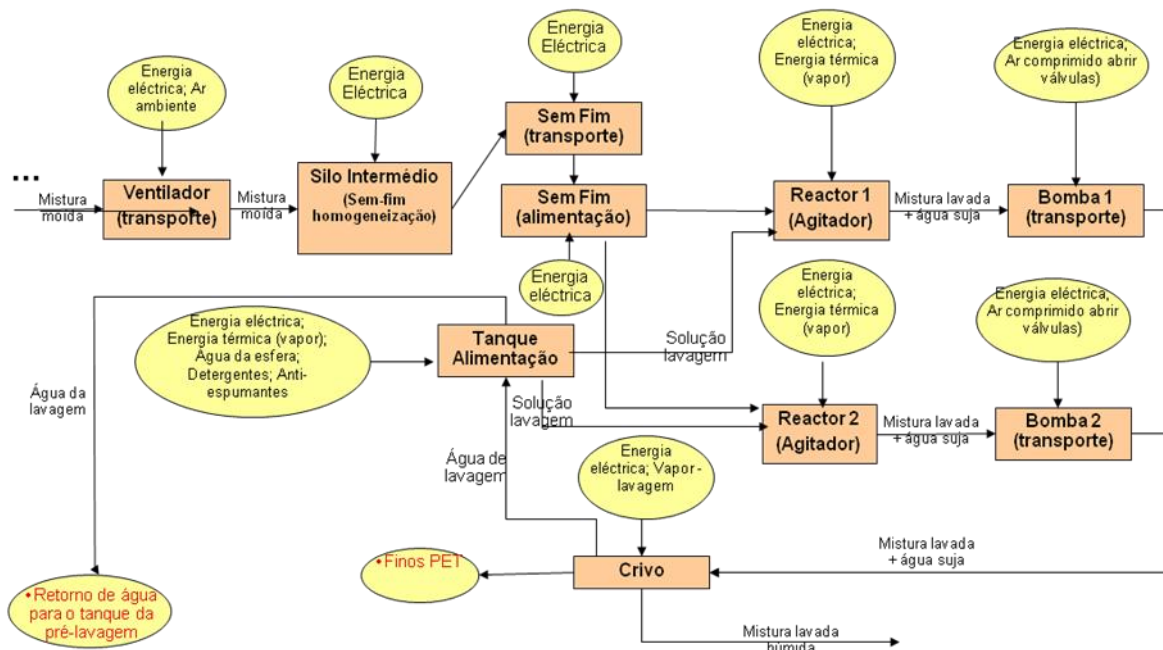
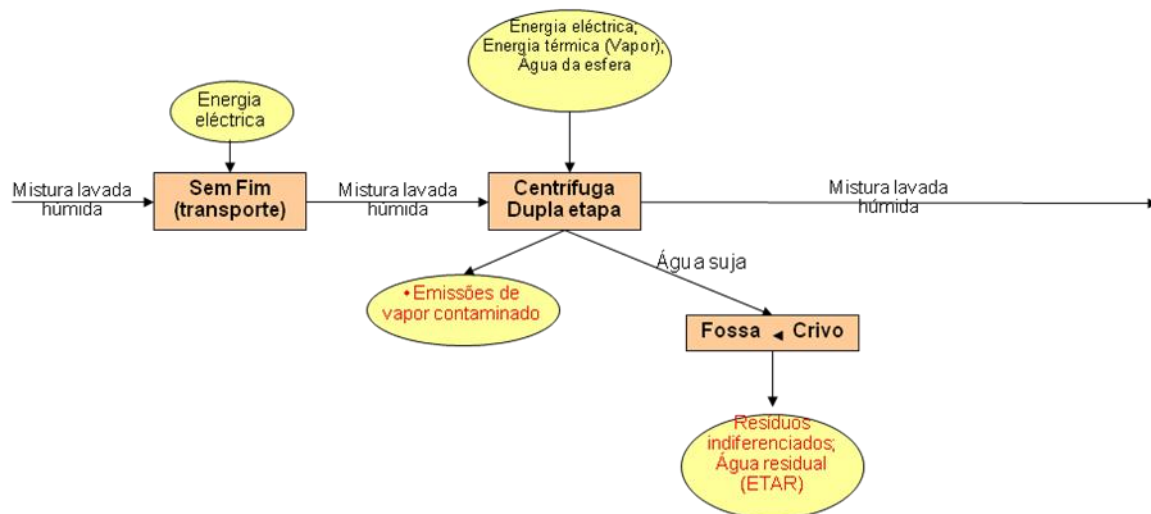
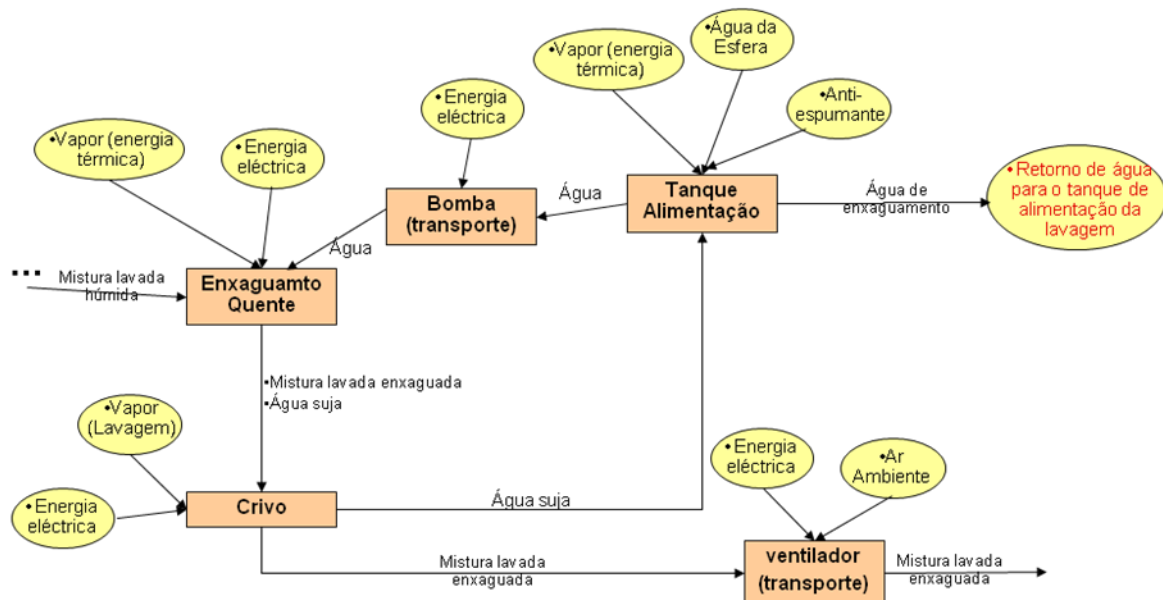


Figura I.9 – Sub-processo Lavagem 2 (processo Lavagem 1 do micro-processo Lavagem), 4º nível de rede

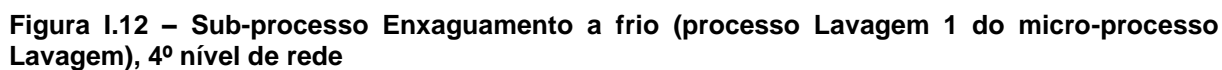


**Figura I.10 – Sub-processo Centrifugação (processo Lavagem 1 do micro-processo Lavagem), 4º nível de rede**



**Figura I.11 – Sub-processo Enxaguamento a quente (processo Lavagem 1 do micro-processo Lavagem), 4º nível de rede**





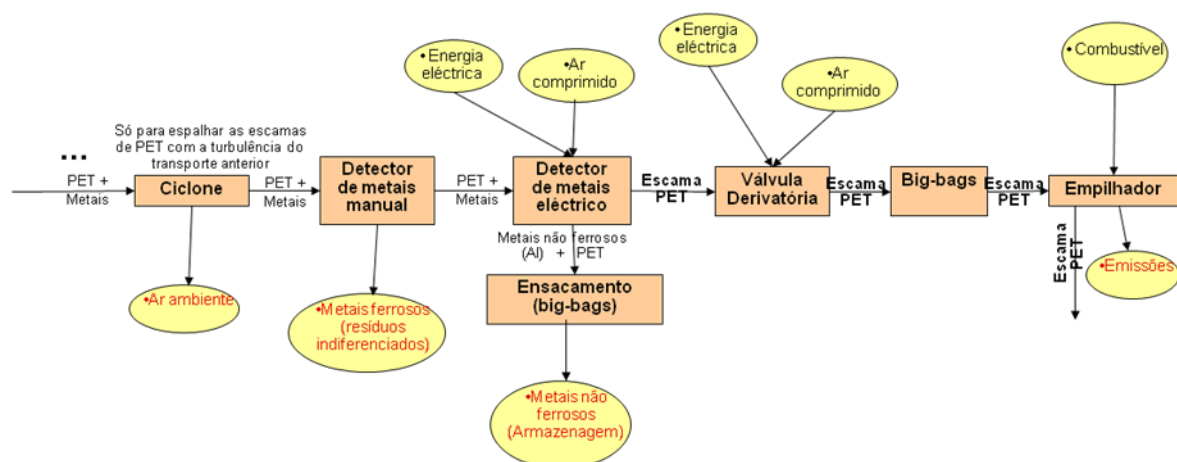


Figura I.14 – Processo Secagem (do micro-processo Lavagem), 3º nível de rede (2ª parte)

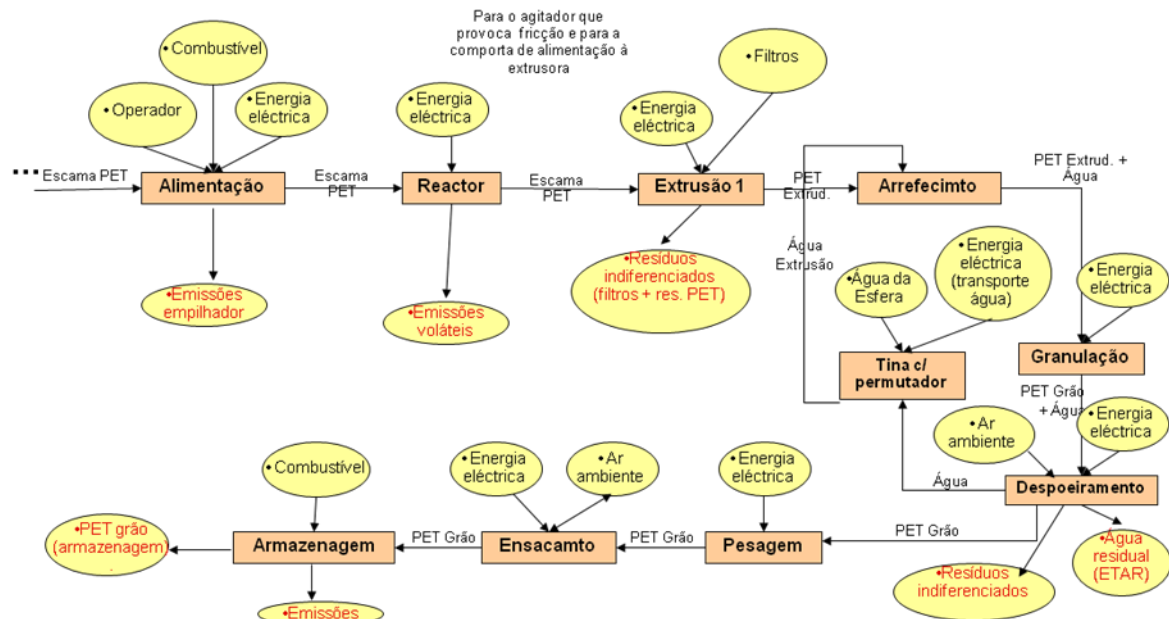


Figura I.15 – Micro-processo Extrusão, 2º nível de rede

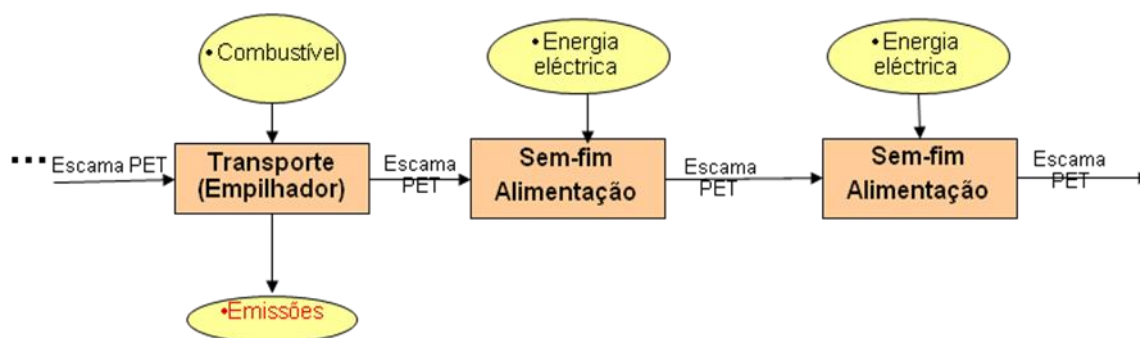


Figura I.16 – Processo Alimentação (do micro-processo Extrusão), 3º nível de rede

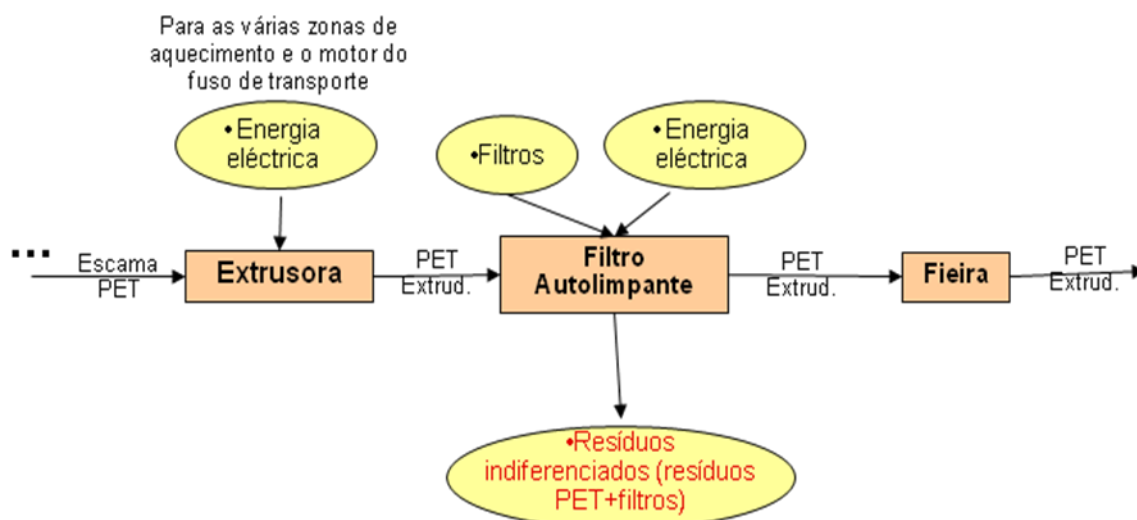


Figura I.17 – Processo Extrusão 1 (do micro-processo Extrusão), 3º nível de rede

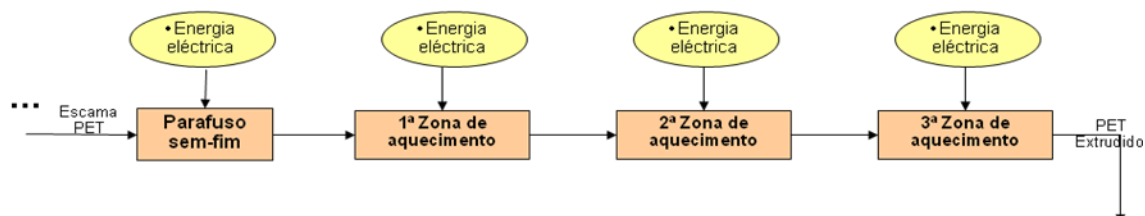
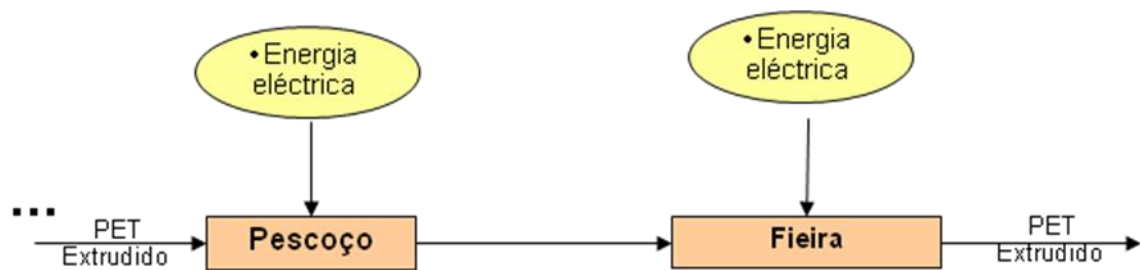
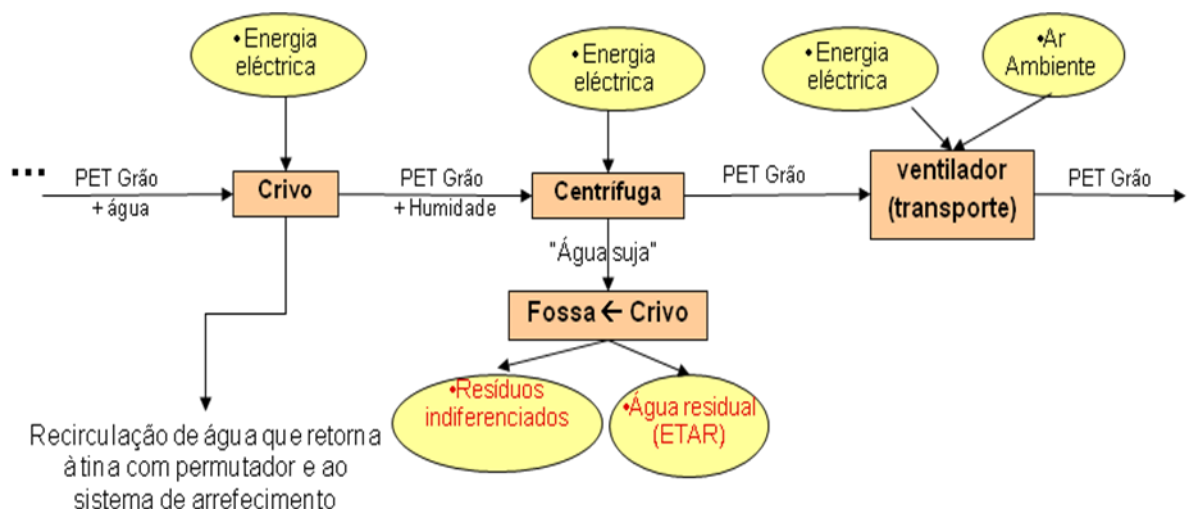


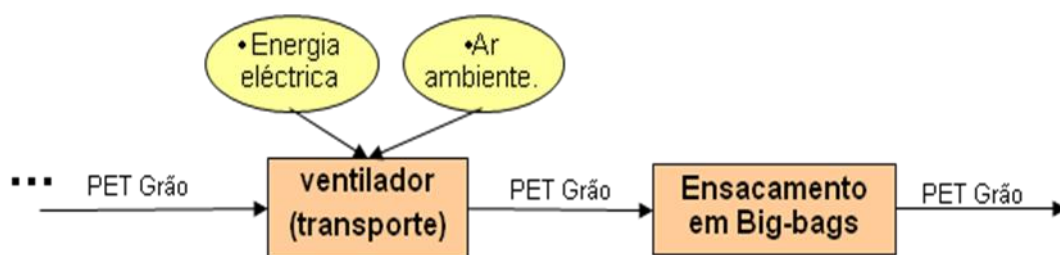
Figura I.18 – Sub-processo Extrusora (do processo Extrusão 1 do micro-processo Extrusão), 4º nível de rede



**Figura I.19 – Sub-processo Fieira (do processo Extrusão 1 do micro-processo Extrusão), 4º nível de rede**



**Figura I.20 – Processo Despoeiramento (do micro-processo Extrusão), 3º nível de rede**



**Figura I.21 – Processo Ensacamento (do micro-processo Extrusão), 3º nível de rede**

## ANEXO II - MODELAÇÃO NO SOFTWARE UMBERTO®

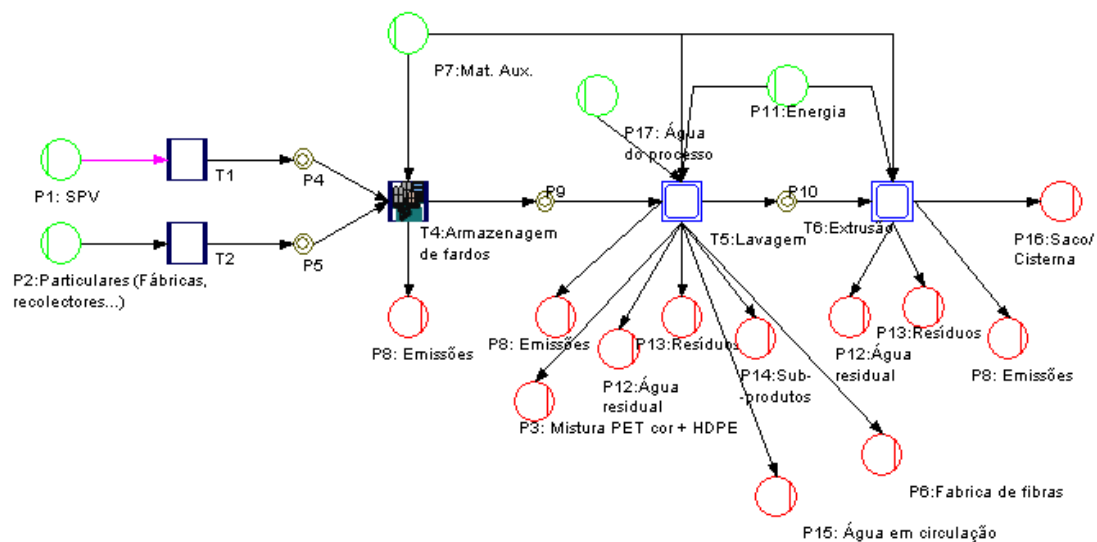


Figura II.1 – Macro-processo ou 1º nível de rede

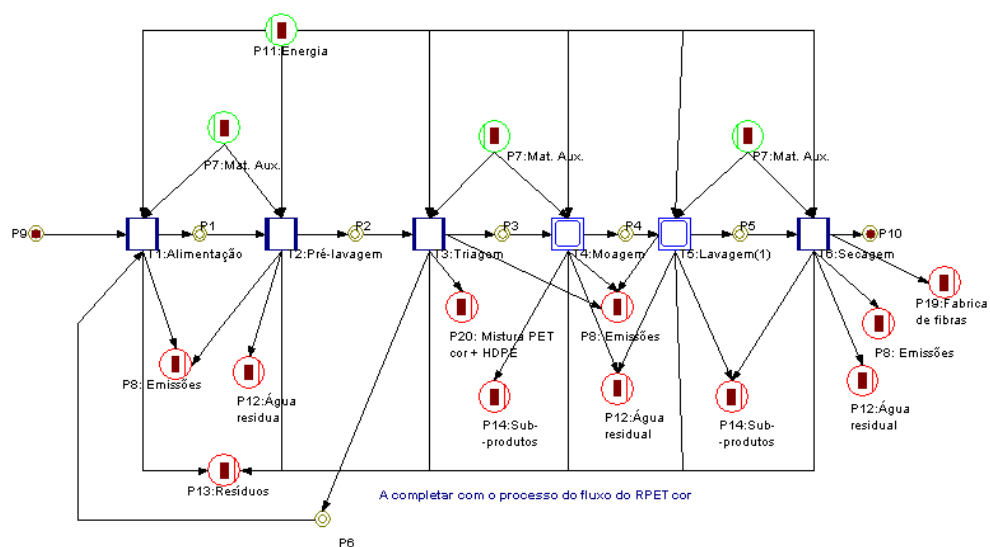


Figura II.2 – Micro-processo Lavagem, 2º nível de rede

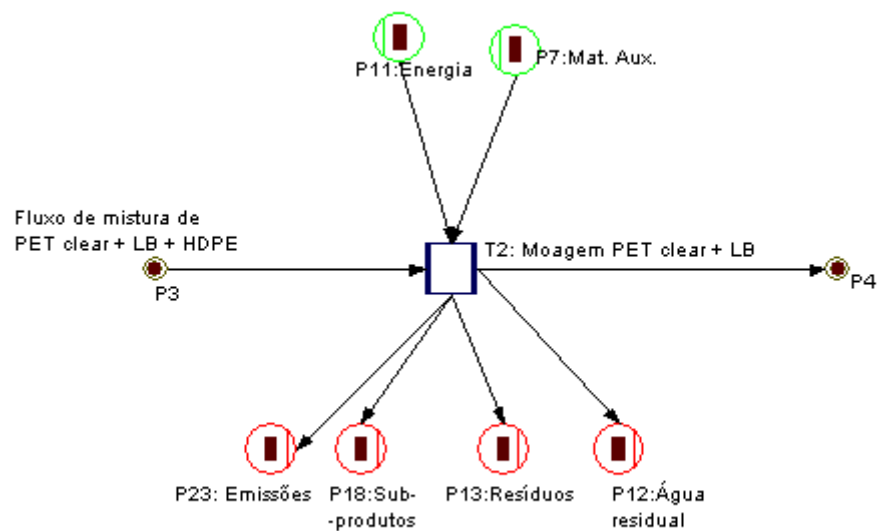


Figura II.3 – Processo Moagem, 3º nível de rede

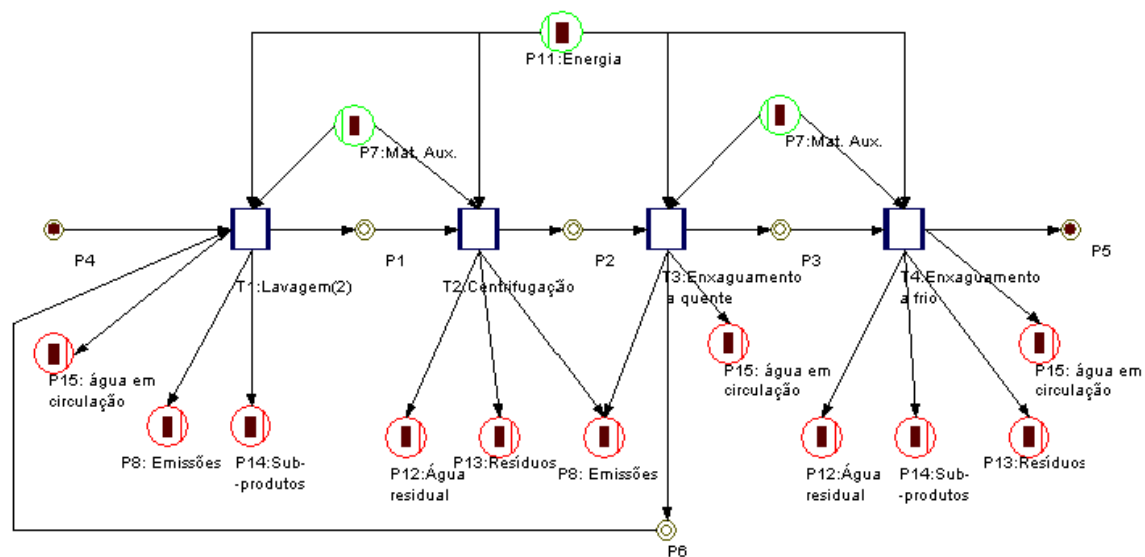


Figura II.4 – Processo Lavagem 1, 3º nível de rede

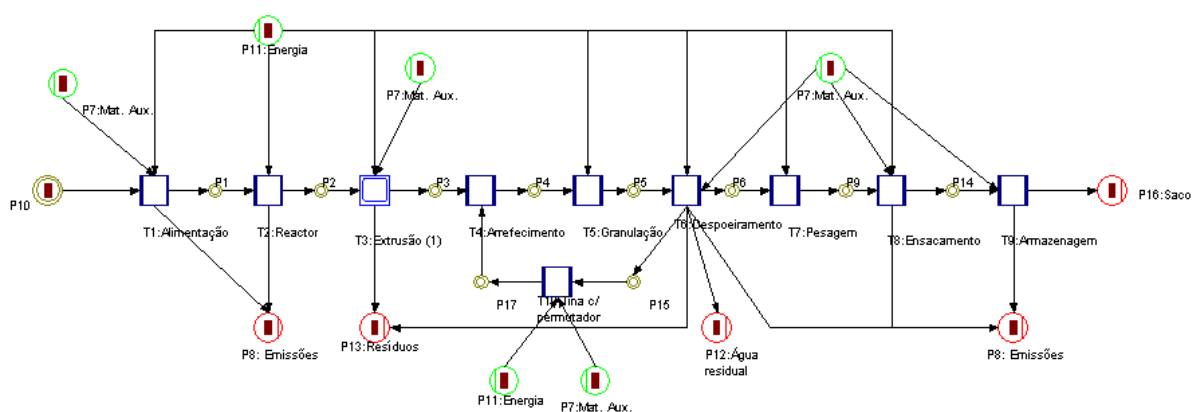


Figura II.5 – Processo Extrusão, 2º nível de rede

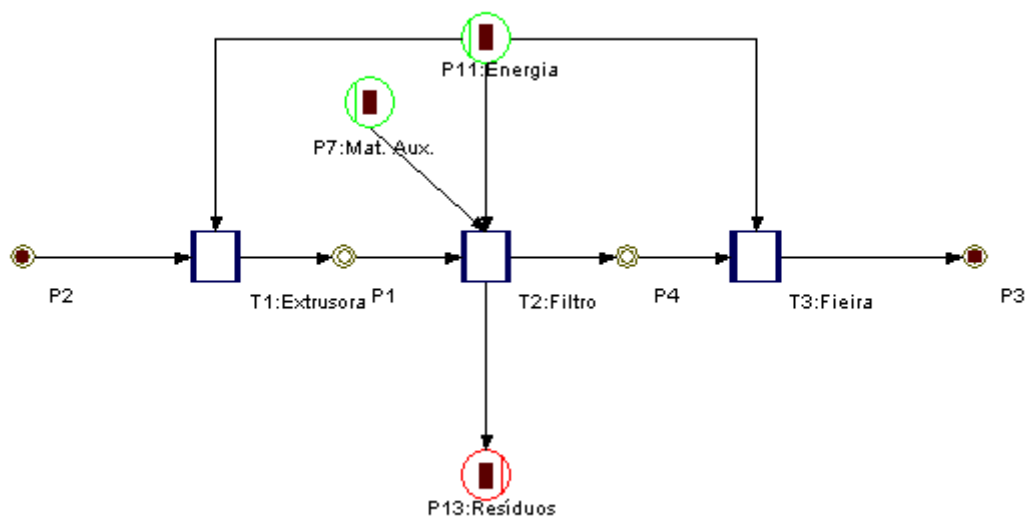


Figura II.6 – Processo Extrusão, 3º nível de rede



**ANEXO III – BALANÇOS DE MASSA E ENERGIA (*BALANCE SHEET INPUT/OUTPUT*) DO MACRO-PROCESSO RECICLAGEM MECÂNICA E DOS MICRO-PROCESSOS LAVAGEM E EXTRUSÃO**

<b>Balance Sheet Input / Output</b>					
<b>Input</b>			<b>Output</b>		
<b>Item</b>	<b>Quantity</b>	<b>Unit</b>	<b>Item</b>	<b>Quantity</b>	<b>Unit</b>
<b>água de processo</b>			<b>aguas residuais</b>		
agua de secagem	9.800,85	kg	agua residual (ETAR)	85.215,37	kg
<b>emissoes</b>			<b>emissoes</b>		
ar ambiente	758.365.441,37	kg	calor dissipado	221.911.371,37	kg
<b>energia</b>			emissão de ar	536.505.096,14	kg
energia electrica	31.879.844,04	kJ	emissão de vapor contaminado	56,73	kg
<b>materiais auxiliares</b>			emissões empilhador CO	1,56	kg
agua da esfera	197.266,33	kg	emissões empilhador HC	0,41	kg
agua de lavagem(2)	990.197,31	kg	emissões empilhador NOx	2,19	kg
anti-espumante	28,81	kg	emissões empilhador PM	0,13	kg
ar comprimido	25.007,78	kg	emissões volateis	0,01	kg
combustivel	84,71	kg	<b>materiais auxiliares</b>		
detergentes	211,23	kg	agua em circuito fechado	24.355,33	kg
entrada agua	1.232.767,07	kg	saida de agua	2.320.794,18	kg
filtros	0,05	kg	<b>produtos</b>		
MS4 (tensoactivo)	15,20	kg	PET grao	14.056,02	kg
soda caustica	78,08	kg	<b>produtos intermedios</b>		
vapor	26.075,10	kg	escama de PET	6.959,23	kg
<b>materias primas</b>			mistura PET cor + HDPE	7.684,25	kg
fardos de garrafas PET - SPV	35.552,92	kg	<b>residuos</b>		
fardos garrafas PET - particulares	2.069,22	kg	metais ferrosos ( considerados resic	9,05	kg
			poeiras e etiquetas (considerado res	407,24	kg
			residuos indiferenciados	5.538,45	kg
			residuos valorizaveis (arame, cartao	227,58	kg
			<b>sub-produtos</b>		
			finos de PET	1.111,41	kg
			HDPE	1.357,46	kg
			metais nao ferrosos	271,49	kg
kJ	31.879.844,04	kJ	kg	760.884.515,58	kg
kg	760.884.596,03	kg			

**Figura III.1 – Balanço do processo de reciclagem mecânica**



## Balance Sheet Input / Output

Input			Output		
Item	Quantity	Unit	Item	Quantity	Unit
<b>água de processo</b>			<b>aguas residuais</b>		
agua de secagem	9.800,85	kg	agua residual (ETAR)	85.150,21	kg
<b>emissoes</b>			<b>emissoes</b>		
ar ambiente	638.909.144,79	kg	calor dissipado	221.911.371,37	kg
<b>energia</b>			emissão de ar	417.048.799,57	kg
energia electrica	16.468.678,62	kJ	emissão de vapor contaminado	56,73	kg
<b>materiais auxiliares</b>			emissões empilhador CO	1,05	kg
agua da esfera	197.201,17	kg	emissões empilhador HC	0,27	kg
agua de lavagem(2)	990.197,31	kg	emissões empilhador NOx	1,48	kg
anti-espumante	28,81	kg	emissões empilhador PM	0,08	kg
ar comprimido	25.007,78	kg	<b>materiais auxiliares</b>		
combustivel	64,31	kg	agua em circuito fechado	24.355,33	kg
detergentes	211,23	kg	saida de agua	2.320.794,18	kg
entrada agua	1.232.767,07	kg	<b>produtos intermedios</b>		
MS4 (tensoactivo)	15,20	kg	escama de PET	21.438,79	kg
soda caustica	78,08	kg	mistura PET cor + HDPE	7.684,25	kg
vapor	26.075,10	kg	<b>residuos</b>		
<b>materias primas</b>			metais ferrosos ( considerados resis	9,05	kg
fardos de garrafas PET	37.622,13	kg	poeiras e etiquetas (considerado res	407,24	kg
			residuos indiferenciados	5.114,88	kg
			residuos valorizaveis (arame, cartao	227,58	kg
			<b>sub-produtos</b>		
			finos de PET	1.111,41	kg
			HDPE	1.357,46	kg
			metais nao ferrosos	271,49	kg
kJ	16.468.678,62	kJ	kg	641.428.152,40	kg
kg	641.428.213,84	kg			

Figura III.2 – Balanço do micro-processo de Lavagem

Balance Sheet Input / Output					
Input			Output		
Item	Quantity	Unit	Item	Quantity	Unit
<b>emissoes</b>			<b>aguas residuais</b>		
ar ambiente	119.456.296,58	kg	agua residual (ETAR)	65,16	kg
<b>energia</b>			<b>emissoes</b>		
energia electrica	15.411.165,42	kJ	emissão de ar	119.456.296,58	kg
<b>materiais auxiliares</b>			emissões empilhador CO	0,35	kg
agua da esfera	65,16	kg	emissões empilhador HC	0,09	kg
combustivel	11,27	kg	emissões empilhador NOx	0,49	kg
filtros	0,05	kg	emissões empilhador PM	0,03	kg
<b>produtos intermedios</b>			emissões volateis	0,01	kg
escama de PET	14.479,55	kg	<b>produtos</b>		
			PET grao	14.056,02	kg
			<b>residuos</b>		
			residuos indiferenciados	423,57	kg
kJ	15.411.165,42	kJ	kg	119.470.842,31	kg
kg	119.470.852,61	kg			

Figura III.3 – Balanço do micro-processo de Extrusão